Iranian Journal of Pulses Research
Vol. 14, No. 2, December 2023, pp. 181-208
Original Research

پژوهش‌های حبوبات ایران
جلد ۱٤، شمارۀ ۲، نیمۀ دوم ۱٤۰۲، ص. ۲۰۸-۱۸۱
نوع مقاله: پژوهشی

Homepage: https://ijpr.um.ac.ir/

https://doi.org/10.22067/ijpr.2023.80535.1050

Variation of Salinity Tolerance of Kabuli -Type Chickpea Genotypes at Seedling Stage under Control Conditions

Farzane Safdari[1], Jafar Nabati[2], Ahmad Nezami[3], Mohammad Javad Ahmadi Lahijani[2]

Received: 14-01-2023
Revised: 24-04-2023
Accepted: 13-06-2023
Available Online: 21-02-2024

Cite this article:
Safdari, F., Nabati, J., Nezami, A., & Ahmadi Lahijani, M.J. (2023). Variation of salinity tolerance of Kabuli-type chickpea genotypes at seedling stage under control conditions. *Iranian Journal of Pulses Research*, *14*(2), 181-210. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/10.22067/ijpr.2023.80535.1050

Introduction

Salinity stress is one of the most vital abiotic stresses which limits the production of crops. In recent decades, the area under chickpea cultivation in Iran has tripled, but unfortunately, its yield has decreased from 610 to 500 Kg per hectare. The main reason for this reduction is the allocation of marginal lands under rain-fed conditions to chickpea cultivation. However, environmental stresses are the most critical factors of yield loss that can decrease chickpeas production significantly. The growth of chickpea is susceptible to salinity, and salinity stress affects their yield by affecting plant growth and symbiotic bacteria. Considering the current extent of salt-affected lands in Iran and in order to maintain and increase the area under chickpea cultivation, it is necessary to select the salt-tolerant genotypes. Therefore, this study was carried out to determining the salinity tolerance threshold of Kabuli -type chickpea genotypes.

Materials and Methods

The experiment was a split-plot randomized complete block design (RCBD) with three replicates at the research greenhouse of the faculty of agriculture of Ferdowsi University of Mashhad, Iran, in 2020. Chickpea germplasm, including 70 Kabuli type chickpea genotypes, were provided from the Mashhad chickpea collection at the Research Center for Plant Science, Ferdowsi University of Mashhad. Two weeks after seed planting, the salinity treatments included 12 and 16 $dS.m^{-1}$ sodium chloride and 0.5 $dS.m^{-1}$ (tap water) as control was applied. The recirculating nutrient system was applied, the nutrient solution was replaced weekly, and the salinity of nutrient solution was adjusted daily, but no acidity adjustments were made in the Hoagland solution. The plant height was measured before and after four weeks of applying salinity stress, and then the difference in plant height was calculated. Four weeks after salinity application, survival percentage, leaves survival, plant height, leaf electrolyte leakage, osmotic potential, shoot dry weight, and Na to K ratio were measured. Salinity tolerance indexes, including stress tolerance (TOL), mean productivity (MP), stress susceptibility index (SSI), geometric mean productivity (GMP), and stress tolerance index (STI), were calculated based on the shoot dry weight and separately for 12 and 16 $dS.m^{-1}$ compared to the control treatment. Data were analyzed using Minitab 16 software, and the mean comparison was performed by Duncan Multiple Range Test (DMRT) at a 5% probability level. Interrelationship among different traits was calculated using Pearson's correlation analysis. STATISTICA 8.0 and SPSS 27 soft wares also performed a cluster analysis (based on Euclidean distance) and principal component analysis (PCA).

Results and Discussion

The results showed that for the salinity levels of 12 and 16 $dS.m^{-1}$, 65 and 28 genotypes had a survival between 76 -100%, respectively. With the decrease in the survival percentage in 16 $dS.m^{-1}$, the average percentage of leaf survival also decreased. With increased salinity levels from 12 to 16 $dS.m^{-1}$, electrolyte leakage in the survival range of 76 -100, 51 -75, and 26 -50% increased by 8, 25, and 12%, respectively. With increased salinity levels from 12 to 16 $dS.m^{-1}$, in survival ranges of 0 -25, 26 -50, 51 -75, and 76 -100%, shoot dry weight decreased by 15, 11, 36, and 14%. With increased salinity levels from 12 to 16 $dS.m^{-1}$, the shoot Na to K ratio in the survival range of 26-50% did not change, and in the survival range of 0 -25, 51 -75 and 76 -100%, it increased two and nine times and 22% respectively. The

1, 2 and 3- M.Sc. Student, Assistant Professor and Professor, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran, respectively.
* Corresponding Author: jafarnabati@um.ac.ir

highest average shoot Na to K ratio was also observed within the survival range of 0 -25%. In 12 and 16 $dS.m^{-1}$, two genotypes, MCC1467 and MCC1394, were superior to other genotypes in most studied traits. The genotypes of the third cluster had a higher relative advantage for salinity tolerance.

Conclusions

In general, the results showed the diversity between chickpea genotypes under salinity stress. In 12 and 16 $dS.m^{-1}$ salinity, MCC1467 and MCC1394 were superior to other genotypes in most studied traits. In saline conditions plant survival had a positive and strong correlation with leaf survival. In the saline condition, genotypes that can maintain their normal physiological function can maintain and expand more leaf area, which ultimately leads to more biomass production. The genotypes of the third cluster had a more advantage for salinity tolerance. Due to this study being conducted in greenhouse conditions, it is recommended to check the salinity tolerance of superior genotypes in field conditions.

Keywords: Electrolyte leakage, K, Na, Shoot dry weight, Survival

پژوهش‌های حبوبات ایران
جلد ۱۴، شمارهٔ ۲، نیمهٔ دوم ۱۴۰۲، ص. ۲۰۸-۱۸۱
نوع مقاله: پژوهشی

Iranian Journal of Pulses Research
Vol. 14, No. 2, December 2023, pp. 181-208
Original Research

Homepage: https://ijpr.um.ac.ir/

https://doi.org/10.22067/ijpr.2023.80535.1050

تنوع تحمل به شوری ژنوتیپ‌های نخود تیپ کابلی در مرحله گیاهچه‌ای در شرایط کنترل شده

فرزانه صفدری[۱]، جعفر نباتی[۲]*، احمد نظامی[۳]، محمد جواد احمدی لاهیجانی[۲]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۲۴
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۳/۲۳

چکیده

این مطالعه با هدف به‌گزینی تحمل به شوری ژنوتیپ‌های نخود، به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار در دانشگاه فردوسی مشهد در سال ۱۳۹۹ اجرا شد. شوری در دو سطح (۱۲ و ۱۶ $dS.m^{-1}$) کلرید سدیم و شاهد ۰/۵ $dS.m^{-1}$ (آب شرب)، در کرت‌های اصلی و ۷۰ ژنوتیپ نخود در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که در شوری ۱۲ و ۱۶ $dS.m^{-1}$ به‌ترتیب ۶۵ و ۲۸ ژنوتیپ، از بقای بوته بین ۱۰۰-۷۶ درصد برخوردار بودند. با کاهش درصد بقا در ۱۶ $dS.m^{-1}$، درصد بقای برگ نیز کاهش یافت. با افزایش شوری از ۱۲ به ۱۶ $dS.m^{-1}$ نشت الکترولیت‌ها در دامنه بقای ۱۰۰-۷۶ درصد و دامنه‌های بقای ۷۵-۵۱ و ۵۰-۲۶ درصد، به‌ترتیب به‌میزان ۸، ۲۵ و ۱۲ درصد افزایش یافت. با افزایش شوری از ۱۲ به ۱۶ $dS.m^{-1}$ وزن خشک در دامنه‌های بقای ۲۵-۰، ۵۰-۲۶، ۷۵-۵۱ و ۱۰۰-۷۶ درصد به‌میزان ۱۵، ۱۱، ۳۶ و ۱۴ درصد کاهش یافت. با افزایش شوری از ۱۲ به ۱۶ $dS.m^{-1}$، $Na.K^{-1}$ در دامنه بقای ۵۰-۲۶ درصد تغییری نداشت و در دامنه‌های بقای ۲۵-۰، ۷۵-۵۱ و ۱۰۰-۷۶ درصد به‌ترتیب ۹ و ۲ برابر و ۲۲ درصد افزایش یافت. بیشترین میانگین نسبت سدیم به پتاسیم اندام هوایی در دامنه بقای ۲۵-۰ درصد مشاهده شد. در شوری ۱۲ و ۱۶ $dS.m^{-1}$ دو ژنوتیپ MCC1467 و MCC1394 در بیشتر صفات مورد مطالعه برتر از سایر ژنوتیپ‌ها بودند. ژنوتیپ‌های گروه سوم حاصل از تجزیه خوشه‌ای از برتری نسبی تحمل به شوری برخوردار بودند. با توجه به گلخانه‌ای بودن این پژوهش، بررسی تحمل به شوری ژنوتیپ‌های برتر در شرایط مزرعه توصیه می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: بقاء، پتاسیم، سدیم، نشت الکترولیت، وزن خشک بوته

مقدمه

نمک‌های محلول یکی از ویژگی‌های طبیعی زمین هستند و معمولاً به‌مقدار کم در تمام خاک‌ها، آب‌ها و سنگ‌ها وجود دارند؛ امّا انباشتگی فراتر از نسبت معینی از این مواد محلول در خاک، باعث شور شدن خاک می‌شود. خاک‌های شور بیابان‌ها و مناطق نیمه‌خشک عمدتاً تحت تأثیر سدیم کلرید و سولفات‌ها ایجاد می‌شوند (Dagar *et al.*, 2019). تنش شوری یکی از تنش‌های مهم در مناطق خشک و نیمه‌خشک است که تولید محصولات زراعی را با محدودیت مواجه می‌کند. در خاک‌های شور هدایت الکتریکی عصاره اشباع بیشتر از چهار دسی زیمنس بر متر و فشار اسمزی حدود ۰/۲ مگا پاسکال است. تنش شوری می‌تواند از طریق تجمع بیش از حد یون‌ها، موجب تنش خشکی و همچنین عدم تعادل عناصر غذایی، بر رشد و نمو گیاهان تأثیرگذار باشد. علاوه‌براین، تنش شوری اغلب به‌دلیل تولید گونه‌های اکسیژن فعال با تنش اکسیداتیو همراه است (Ghosh *et al.*, 2020).

نخود (*Cicer arietinum* L.) در گروه اولین گیاهان دانه‌ای است که به‌وسیله انسان کشت شده است. پروتئین‌ها حدود ۲۰ درصد از کل دانه نخود را تشکیل می‌دهند (Tan *et al.*, 2021). حدود ۶۰ تا ۶۵ درصد دانه نخود از کربوهیدرات‌ها تشکیل شده و دارای انواع فیبرهای غذایی شامل پلی‌ساکاریدها، الیگوساکاریدها، لیگنین و موم‌ها است (Kaur *et al.*, 2021).

در سال ۲۰۱۰، سطح زیر کشت نخود در ایران ۴۶۷۰۰۰ هکتار با میزان تولید ۵۵۴۴۶۲ تن بود که در سال ۲۰۱۵ سطح زیر کشت به ۳۹۵۰۰۰ هکتار و میزان تولید به ۵۱۳۶۷۷ تن کاهش یافت. این در حالی است که در سال ۲۰۱۸ سطح زیر کشت به ۴۷۰۰۰۰ هکتار افزایش یافت و میزان تولید به ۶۶۱۳۸۶ تن رسید (FAO, 2018). در ایران، سطح زیر کشت و عملکرد نخود تحت تأثیر عوامل مختلفی مانند شرایط آب و هوا، نیاز بازار و سیاست‌های کلی دولت است. کاهش سطح زیر کشت نخود در ایران، می‌تواند به‌دلیل اختصاص اراضی دیم و

۱، ۲ و ۳- به‌ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد، استادیار و استاد گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.
(*- نویسنده مسئول: jafarnabati@um.ac.ir)

کم بازده به کشت نخود باشد. با این حال، تنش‌های محیطی از جمله مهم‌ترین عوامل کاهش‌دهنده محصول می‌باشند که در این میان، تنش خشکی، شوری، سرما، آفات و علف‌های هرز از مهم‌ترین آن‌ها می‌باشند (Kanuni, 2016). نخود از گیاهان حساس به شوری است و تنش شوری با تأثیر بر رشد گیاه و باکتری‌های همزیست بر عملکرد آن تأثیر می‌گذارد (Amini Dehaghi & Dadkhah, 2012). با این وجود، مطالعه اثر تنش شوری بر نخود نشان داده است که این گیاه از تنوع قابل ملاحظه‌ای در تحمل به شوری برخوردار است (Nabati *et al.*, 2018; Nasiri *et al.*, 2021; Nabati *et al.*, 2022a). تجمع یون سدیم در برگ نخود و کاهش رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی از عوامل اصلی آسیب‌پذیری گیاه نخود در مقابل تنش شوری هستند. شوری سبب اختلال در رشد گیاهچه نخود و کاهش طول ریشه‌چه و ساقه‌چه این گیاه می‌شود، زیرا در شرایط تنش شوری تجمع یون‌های مضر سدیم و کلر در مقایسه با شرایط بدون تنش چند برابر افزایش می‌یابد (Farhoudi & Dong, 2015).

در دهه‌های اخیر، پیشرفت‌های قابل توجهی در بهبود تحمل به شوری در گونه‌های زراعی با توجه به ویژگی‌های مورفولوژیک و فیزیولوژیک و صفات مؤثر بر تحمل به شوری صورت گرفته است، امّا اطلاعات در زمینه میزان تحمل گیاه نخود به تنش شوری محدود است. بسیاری از پژوهشگران معتقدند که انتخاب در راستای تحمل به شوری، درصورتی‌که گونه‌ها دارای ویژگی‌های شاخص و متمایز باشند، بسیار راحت‌تر از مطالعه در سطح سلولی می‌باشند (Dharamvir *et al.*, 2018). وجود نمک در خاک سبب کاهش فتوسنتز، افزایش تنفس، سنتز پروتئین، اختلال در متابولیسم اسید نوکلئیک، کاهش پتانسیل اسمزی و متعاقب آن، کاهش قابلیت دسترسی آب برای سلول‌های ریشه می‌شود. همچنین، بالا بودن مقدار نمک‌های محلول خاک منجر به سمیت یونی و بر هم خوردن تعادل یونی، کاهش جذب پتاسیم، منیزیم و کلسیم و افزایش غلظت سدیم می‌گردد (Nabati *et al.*, 2018). بررسی اثر تنش شوری بر ویژگی‌های فتوسنتزی نخود کابلی نشان داد که واکنش ژنوتیپ‌های گیاه نخود به تنش شوری متفاوت است (Nasiri *et al.*, 2023).

غلظت بالای نمک در خاک به‌دلیل افزایش تبخیر آب و حفظ مقدار بیش از حد نمک در گیاهان، تنش خشکی را تحمیل می‌کند (Analin *et al.*, 2020) و از طریق اعمال تنش اکسیداتیو به ساختارهای سلولی آسیب می‌رساند (Chenarani *et al.*, 2014). تجمع درون‌سلولی یون‌های نمک می‌تواند آسیب زیادی به میتوکندری و کلروپلاست گیاه وارد کند (Analin *et al.*, 2020). شوری، تنظیم هورمونی را مختل می‌کند و تأخیر در گل‌دهی و کاهش تعداد گل و غلاف را در پی دارد که در نهایت، عملکرد کمّی و کیفی گیاه نخود را کاهش می‌دهد (Farooq *et al.*, 2017).

یکی از راه‌های مقابله با تنش شوری، گزینش ژنوتیپ‌های متحمل به شوری است. با توجه به گسترش اراضی شور در ایران به‌منظور حفظ و افزایش سطح زیر کشت نخود، ارزیابی پاسخ ژنوتیپ‌های نخود نسبت به تنش شوری، به‌منظور به‌گزینی ژنوتیپ‌های متحمل به شوری ضروری است. از این رو، این پژوهش با هدف انتخاب مقدماتی ژنوتیپ‌های برتر در شرایط تنش شوری انجام شد.

مواد و روش‌ها

این مطالعه در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی به‌صورت کرت‌های خردشده در سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد در سال ۱۳۹۹ اجرا شد. تعداد ۷۰ ژنوتیپ نخود کابلی از بانک بذر حبوبات پژوهشکده علوم گیاهی دانشگاه فردوسی مشهد تهیه شد. تیمارهای شوری به‌عنوان کرت اصلی و ژنوتیپ‌های نخود به‌عنوان کرت فرعی در نظر گرفته شد. ابتدا بذرها در آزمایشگاه در پتری دیش جوانه‌دار شدند و در انتهای آذرماه به گلخانه منتقل شدند. متوسط دمای گلخانه در طی روز ۳±۲۵ و دمای شب ۲±۱۸ درجه سانتی‌گراد بود و هیچ گونه نور مصنوعی استفاده نشد. کشت در شرایط هیدروپونیک (کشت در ماسه) اجرا شد، به این منظور از ماسه رودخانه‌ای که از الک دو میلی‌متری عبور کرده و کاملاً شسته شده بود، به‌عنوان بستر کشت استفاده شد. سیستم کشت هیدروپونیک در این پژوهش شامل ۱۰۸ جعبه ۶۰×۴۰ سانتی‌متری بود و در هر جعبه شش ژنوتیپ کشت شد. در هر جعبه از ۶۰ بذر استفاده شد و از هر ژنوتیپ، ۱۰ بذر جوانه‌دار شده به‌فاصله پنج سانتی‌متر کشت شد. گیاهچه‌ها دو هفته ابتدایی با آب معمولی (۰/۵ دسی‌زیمنس بر متر) آبیاری شدند. به‌منظور تأمین عناصر غذایی مورد نیاز گیاه از محلول غذایی هوگلند با هدایت الکتریکی دو دسی زیمنس بر متر استفاده شد (Hoagland & Arnon, 1950). دو هفته بعد از انتقال بذرهای جوانه‌دار به محیط کشت، تنش شوری در دو سطح ۱۲ و ۱۶ دسی زیمنس بر متر کلرید سدیم و شاهد ۰/۵ (آب شرب)، اعمال شد. سیستم تغذیه در این مطالعه سیستم بسته بود و محلول غذایی در بستر به‌طور متناوب گردش می‌کرد و هر هفته با تعویض محلول هوگلند بر اساس سطح شوری مورد نظر تنظیم شد.

ارتفاع بوته قبل از اعمال تنش شوری و پس از اعمال تنش شوری یادداشت‌برداری و سپس اختلاف ارتفاع بوته اندازه‌گیری شد. چهار هفته پس از اعمال تنش شوری و پس از اندازه‌گیری درصد بقای بوته و درصد بقای برگ، به‌منظور تعیین برخی صفات شامل نشت الکترولیت‌ها (Sairam & Tyagi, 2004) و پتانسیل اسمزی (Voet *et al.*, 2001) از جوان‌ترین برگ کاملاً توسعه‌یافته نمونه‌گیری شد.

درصد بقای گیاهان (SU%) از طریق شمارش تعداد بوته زنده قبل از اعمال تنش شوری (A) و چهار هفته پس از اعمال تنش شوری (B) محاسبه شد (معادله ۱).

معادله (۱) $SU\% = \frac{B\times 100}{A}$

بر اساس درصد بقا، ژنوتیپ‌ها به چهار گروه ۱۰۰-۷۶، ۷۵-۵۱، ۵۰- ۲۶ و ۲۵-۰ درصد بقا طبقه‌بندی شدند.

در هر ژنوتیپ، تعداد برگ باقی‌مانده (A) و تعداد کل برگ (B) بوته شمارش شدند و درصد بقای برگ (LS%) بر اساس معادله ۲ محاسبه شد.

معادله (۲) $LS\% = \frac{A\times 100}{B}$

چهار هفته پس از اعمال تنش شوری ارتفاع نهایی بوته ثبت گردید و سپس بوته‌ها برداشت و وزن خشک گیاهان ۴۸ ساعت پس از قرار گرفتن در آون ۷۰ درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری شد. با استفاده از ۲۵۰ میلی‌گرم نمونه خشک آسیاب شده سدیم و پتاسیم اندام‌های هوایی با دستگاه فلیم‌فتومتر (UK-Jenway) تعیین شد (Tandon, 1995).

همچنین با استفاده از معادله‌های ریاضی زیر، شاخص‌های مختلف ارزیابی میزان تحمل به شوری بر اساس مقدار تولید زیست‌توده (وزن خشک اندام هوایی) و به‌صورت مجزا، برای هر یک از تیمارهای تنش ۱۲ و ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر نسبت به شاهد محاسبه شد.

معادله (۳): شاخص تحمل $TOL^{1} = Y_p - Y_s$

معادله (۴): شاخص بهره‌وری متوسط $MP^{2} = (Y_p+Y_s)/2$

معادله (۵): شاخص حساسیت به تنش

$SSI^{3} = (1-Y_s/Y_p)/(1-\bar{Y}_s/\bar{Y}_p)$

معادله (۶): شاخص میانگین هندسی بهره‌وری

$GMP^{4} = (Y_p\times Y_s)^{0.5}$،

معادله (۷): شاخص تحمل به تنش

$STI^{5} = (Y_p\times Y_s)/(\bar{Y}_p)^2$

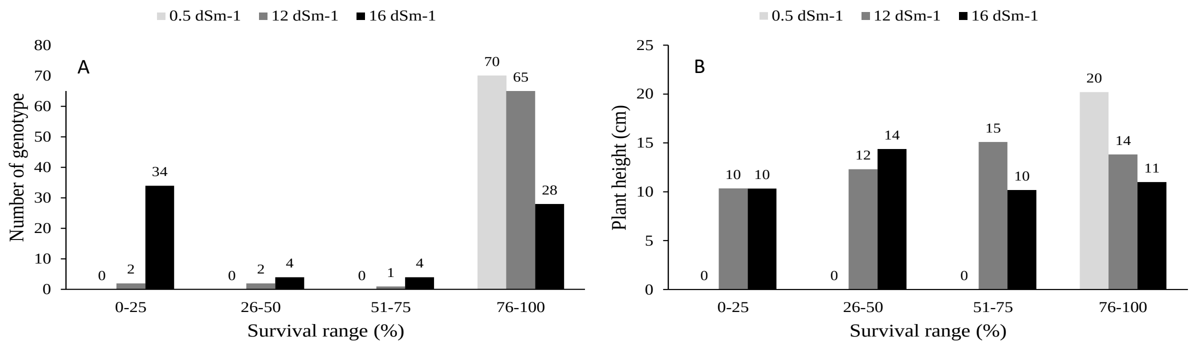
که در این معادله‌ها، Ys: تولید ماده خشک ژنوتیپ در شرایط تنش، Yp: تولید ماده خشک ژنوتیپ در شرایط بدون تنش، $\bar{Y}p$: میانگین تولید ماده خشک کلیه ژنوتیپ‌ها در شرایط بدون تنش و $\bar{Y}s$: میانگین تولید ماده خشک کلیه ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش می‌باشد.

آزمون نرمال بودن داده‌ها و یکنواختی واریانس‌ها با استفاده از نرم‌افزار Minitab16 و تجزیه خوشه‌ای، تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و ترسیم نمودارهای دو بعدی با استفاده از نرم‌افزارهای SPSS27 و STATISTICA انجام شد. برای تأیید صحت گروه‌بندی انجام شده، از تجزیه واریانس چند متغیره و تجزیه تابع تشخیص، استفاده شد. همچنین به‌منظور بررسی تفاوت گروه‌ها از لحاظ صفات مورد مطالعه، مقایسه میانگین گروه‌ها انجام شد. مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد انجام گرفت.

نتایج و بحث

بررسی درصد بقای ژنوتیپ‌های نخود در تیمارهای تنش شوری نشان داد که در شاهد، همه ژنوتیپ‌ها قادر به حفظ ۱۰۰ درصد بقا بودند (جدول ۱). بررسی درصد فراوانی ژنوتیپ‌ها تحت تأثیر تنش شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر نشان داد که بقای ۹۳ درصد از ژنوتیپ‌ها (۶۵ ژنوتیپ)، بین ۱۰۰-۷۶ درصد بود و سه درصد از ژنوتیپ‌ها (دو ژنوتیپ) بقای ۲۵-۰ درصد داشتند. در تنش شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر، ۵۵ ژنوتیپ دارای بقای ۱۰۰ درصد بودند (شکل ۱ الف). بررسی درصد فراوانی ژنوتیپ‌ها تحت تأثیر تنش شوری ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر نشان داد که بقای ۴۰ درصد از ژنوتیپ‌ها (۲۸ ژنوتیپ)، بین ۱۰۰-۷۶ درصد بود و ۴۸ درصد از ژنوتیپ‌ها (۳۴ ژنوتیپ)، بقای ۲۵-۰ درصد داشتند. در تنش شوری ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر، ۲۰ ژنوتیپ دارای بقای ۱۰۰ درصد بودند و چهار ژنوتیپ به‌طور کلی از بین رفتند (شکل ۱ الف).

1- Stress tolerance
2- Mean productivity
3- Stress susceptibility index
4- Geometric mean productivity
5- Stress tolerance index



شکل ۱- تعداد ژنوتیپ (الف) و متوسط ارتفاع بوته (ب) نخود در دامنه‌های بقا چهار هفته پس از اعمال تنش شوری

Fig. 1- Number and plant height of chickpea genotypes in survival ranges after four weeks salinity

جدول ۱- اثر تنش شوری بر درصد بقا در ژنوتیپ‌های نخود کابلی

Table 1- Effect of salinity stress on survival percentage in chickpea genotypes

ژنوتیپ Genotype	0.5	12 (دسی زیمنس بر متر) ($dS.m^{-1}$)	16	ژنوتیپ Genotype	0.5	12 (دسی زیمنس بر متر) ($dS.m^{-1}$)	16
MCC1303	100	100	14.7	MCC1526	100	78.0	13.3
MCC1311	100	90.0	80.0	MCC1529	100	100	4.67
MCC1312	100	100	57.0	MCC1545	100	100	19.3
MCC1314	100	100	100	MCC1551	100	100	90.0
MCC1320	100	100	100	MCC1553	100	100	100
MCC1348	100	100	100	MCC1557	100	100	13.3
MCC1354	100	100	0.00	MCC1558	100	100	13.3
MCC1356	100	100	14.7	MCC1567	100	100	30.0
MCC1357	100	100	100	MCC1578	100	100	100
MCC1358	100	100	14.7	MCC1580	100	100	4.33
MCC1372	100	100	3.33	MCC1584	100	100	100
MCC1381	100	100	3.33	MCC1585	100	100	100
MCC1390	100	100	0.00	MCC1587	100	100	100
MCC1394	100	83.0	5.67	MCC1606	100	100	100
MCC1395	100	100	60.0	MCC1613	100	100	3.33
MCC1431	100	100	70.0	MCC1625	100	100	3.67
MCC1447	100	100	100	MCC1626	100	100	100
MCC1449	100	100	3.33	MCC1631	100	100	13.3
MCC1451	100	100	3.33	MCC1636	100	100	100
MCC1452	100	90.0	19.3	MCC1639	100	58.3	17.0
MCC1458	100	100	3.33	MCC1641	100	90.0	16.7
MCC1465	100	89.0	70.0	MCC1646	100	100	89.0
MCC1466	100	100	3.67	MCC1692	100	100	100
MCC1467	100	90.0	80.0	MCC1730	100	100	100
MCC1473	100	89.0	3.33	MCC1760	100	100	4.67
MCC1478	100	100	50.0	MCC1782	100	100	100
MCC1484	100	100	13.3	MCC1808	100	100	100
MCC1489	100	26.7	4.67	MCC1828	100	80.0	80.0
MCC1501	100	13.3	0.00	MCC1834	100	100	90.0
MCC1512	100	100	13.3	MCC1865	100	100	80.0
MCC1514	100	19.3	0.00	MCC1966	100	100	100
MCC1515	100	100	50.0	MCC2122	100	100	89.0
MCC1516	100	33.3	33.3	MCC2166	100	100	11.0
MCC1518	100	100	90.0	MCC2168	100	90.0	80.0
MCC1525	100	100	13.3	MCC2190	100	100	3.33

منابع تغییرات S.O.V.	تکرار Replication	شوری Salinity	خطای a Error a	ژنوتیپ Genotype	شوری × ژنوتیپ Salinity × genotype	خطا Error	ضریب تغییرات C.V (%)	$LSD_{0.05}$
درجه آزادی d.f	2	2	4	69	138	414	5.918	3.093
میانگین مربعات Mean of squares	582**	165017**	286	2535**	1926**	22.7		

MCC: کلکسیون نخود بانک بذر مشهد، LSD: حداقل تفاوت معنی‌دار، ns، * و **: به‌ترتیب غیر معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد، معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد

MCC: Mashhad Chickpea Collection, LSD: Last significant difference, ^{ns}, ** and *: Non significant and significant at 1% and 5%, respectively.

تنش شوری منجر به تجمع یون‌های سمی در گیاه می‌شود، که این یون‌های سمی باعث آسیب به غشا، عدم تعادل در جذب مواد غذایی، تغییر سطوح تنظیم‌کننده‌های رشد، مهار آنزیمی و اختلال در فرآیندهای متابولیک از جمله فتوسنتز می‌شود که در نهایت، منجر به مرگ گیاه می‌شود (Soni *et al.*, 2021). در این مطالعه، در تنش شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر تمامی ژنوتیپ‌ها قادر به حفظ بقا بودند، امّا دامنه تغییرات ژنوتیپ‌ها از ۱۳ تا ۱۰۰ درصد متغیر بود. در تنش شوری ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر، ۲۰ ژنوتیپ قادر به حفظ ۱۰۰ درصد بقا بودند (جدول ۱). به نظر می‌رسد، این ژنوتیپ‌ها با دارا بودن بالاترین درصد بقا در تنش شوری ۱۲ و ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر در گروه ژنوتیپ‌های متحملی باشند که موفق به رشد بهتر در شرایط تنش شوری شده‌اند. نتایج بررسی اثر تنش شوری بر بقای ژنوتیپ‌های نخود تیپ دسی نیز حاکی از تنوع در بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه بود (Nabati *et al.*, 2022a) که با نتایج آزمایش حاضر مطابقت دارد.

جدول ۲- اثر تنش شوری بر ارتفاع بوته (سانتی‌متر) در ژنوتیپ‌های نخود کابلی

Table 2- Effect of salinity stress on plant height (cm) in chickpea genotypes

ژنوتیپ Genotype	0.5	12	16	ژنوتیپ Genotype	0.5	12	16
	(دسی زیمنس بر متر) (dS.m^{-1})				(دسی زیمنس بر متر) (dS.m^{-1})		
MCC1303	21.0	11.2	10.3	MCC1526	23.3	17.0	3.80
MCC1311	19.7	15.5	12.3	MCC1529	19.8	12.5	12.2
MCC1312	14.5	12.0	9.30	MCC1545	12.7	11.7	8.7
MCC1314	17.0	11.8	10.3	MCC1551	17.2	13.8	12.7
MCC1320	25.2	14.7	14.3	MCC1553	17.3	12.5	7.00
MCC1348	16.0	13.8	8.20	MCC1557	21.0	14.8	15.0
MCC1354	20.8	14.3	10.2	MCC1558	22.2	13.5	10.7
MCC1356	17.8	16.7	14.0	MCC1567	15.7	9.70	13.0
MCC1357	17.5	9.30	10.7	MCC1578	20.5	15.3	13.3
MCC1358	23.7	15.5	12.3	MCC1580	18.3	11.3	10.3
MCC1372	19.0	11.0	9.30	MCC1584	17.0	14.7	10.0
MCC1381	16.2	14.0	11.2	MCC1585	24.2	13.8	12.3
MCC1390	16.7	13.3	9.50	MCC1587	14.3	14.0	10.0
MCC1394	23.3	16.8	8.20	MCC1606	19.0	13.5	11.7
MCC1395	24.2	17.8	9.70	MCC1613	24.7	13.0	10.3
MCC1431	25.3	19.2	13.0	MCC1625	20.3	14.2	8.70
MCC1447	27.7	15.3	10.0	MCC1626	21.7	13.7	8.70
MCC1449	18.7	12.3	9.70	MCC1631	21.5	11.8	9.00
MCC1451	17.3	11.0	8.00	MCC1636	19.2	12.7	12.3
MCC1452	18.5	12.7	11.3	MCC1639	17.5	15.1	11.7
MCC1458	17.3	11.7	11.3	MCC1641	19.3	11.8	9.70
MCC1465	25.2	12.3	8.70	MCC1646	18.3	14.8	14.8
MCC1466	29.5	23.2	18.5	MCC1692	18.7	12.7	8.00
MCC1467	25.7	18.3	14.3	MCC1730	14.8	13.7	10.3
MCC1473	19.0	12.3	12.7	MCC1760	22.5	14.3	12.0
MCC1478	18.0	13.8	13.7	MCC1782	16.3	10.0	12.0
MCC1484	22.5	14.3	8.50	MCC1808	23.3	13.2	13.2
MCC1489	15.3	11.3	6.80	MCC1828	18.0	12.0	12.3
MCC1501	15.5	9.70	7.00	MCC1834	16.8	12.8	10.3
MCC1512	22.0	13.0	10.0	MCC1865	21.3	12.2	8.70
MCC1514	19.3	11.0	3.50	MCC1966	15.3	13.7	8.70
MCC1515	34.5	20.7	17.8	MCC2122	23.2	13.3	9.70
MCC1516	20.8	13.3	13.0	MCC2166	24.7	14.0	8.00
MCC1518	20.3	14.7	9.00	MCC2168	21.5	12.2	13.0
MCC1525	20.3	12.3	10.7	MCC2190	26.0	19.8	13.5

منابع تغییرات S.O.V.	تکرار Replication	شوری Salinity	خطای a Error a	ژنوتیپ Genotype	شوری × ژنوتیپ Salinity × genotype	خطا Error	ضریب تغییرات C.V (%)	$LSD_{0.05}$
درجه آزادی d.f	2	2	4	69	138	414	17.917	2.95
میانگین مربعات Mean of squares	7.64^{ns}	4834.54**	22.89	55.83**	14.34**	7.13		

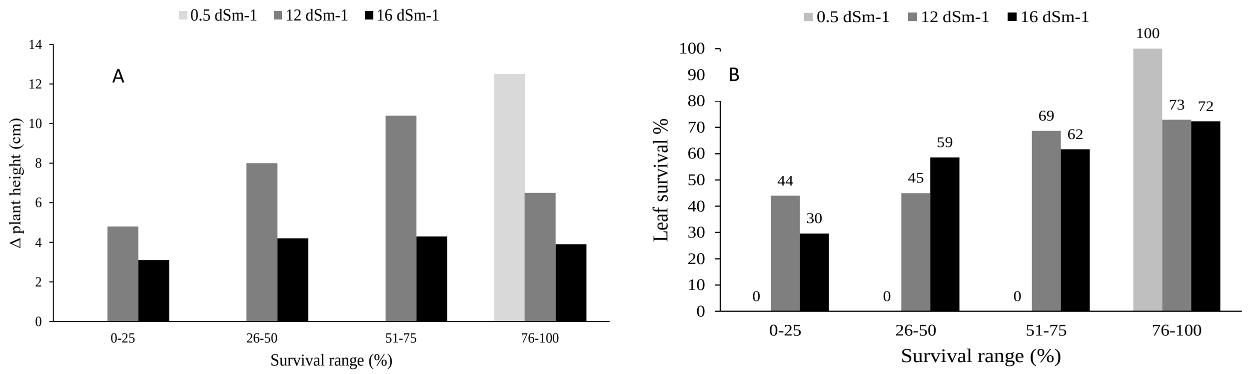
MCC: کلکسیون نخود بانک بذر مشهد، LSD: حداقل تفاوت معنی‌دار، ns، * و **: به‌ترتیب غیر معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد، معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد.

MCC: Mashhad Chickpea Collection, LSD: Last significant difference, ^{ns}, ** and *: Non significant and significant at 1% and 5%, respectively.

بررسی ارتفاع بوته در دامنه‌های بقا تحت تنش شوری نشان داد در تنش شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر، متوسط ارتفاع بوته نسبت به شاهد ۳۴ درصد کاهش یافت و بیشترین میانگین مربوط به دامنه بقای ۵۱-۷۵ درصد بود. متوسط ارتفاع بوته در تنش شوری ۱۲ و ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر، در دامنه بقای ۲۵-۰ درصد تقریباً مشابه بود و در تنش شوری ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر، در دامنه‌های بقای ۷۵-۵۱ و ۱۰۰-۷۶ درصد به‌ترتیب به‌میزان ۴۸ و ۲۶ درصد کاهش یافت و بیشترین متوسط ارتفاع بوته در دامنه بقای ۵۰-۲۶ درصد مشاهده شد (شکل ۱ ب). در تنش شوری ۱۲ و ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر، بیشترین ارتفاع بوته در ژنوتیپ MCC1466 مشاهده شد (جدول ۲).

ارتفاع بوته‌ها قبل از اعمال تنش شوری و چهار هفته پس از اعمال تنش شوری اندازه‌گیری شد. بررسی روند اختلاف ارتفاع بوته قبل از تنش و پس از اعمال تنش شوری در دامنه‌های بقا نشان داد که در تنش شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر، بیشترین متوسط اختلاف ارتفاع بوته مربوط به دامنه بقای ۵۱-۷۵ درصد و کمترین متوسط اختلاف ارتفاع بوته مربوط به دامنه بقای ۲۵-۰ درصد مشاهده شد (شکل ۲ الف). در تنش شوری ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر در تمامی دامنه‌های بقا، میانگین اختلاف ارتفاع بوته نسبت به تنش شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر کمتر بود و بیشترین میانگین اختلاف ارتفاع بوته مربوط به دامنه بقای ۷۵-۵۱ درصد بود (جدول ۳). شوری بالا هموستازی یونی را در واکوئل گیاهان مختل می‌کند، پتانسیل آبی ریشه‌ها را کاهش می‌دهد، استخراج آب را محدود می‌کند و سرعت رشد گیاه را کاهش می‌دهد (Sun *et al.*, 2017). به همین دلیل، رشد گیاه و افزایش ارتفاع گیاه در شرایط تنش شوری کند می‌شود. بررسی همبستگی صفات بیانگر همبستگی مثبت و معنی‌دار اختلاف ارتفاع بوته با ارتفاع بوته در شاهد (**r=۰/۷۹)، تنش شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر (**r=۰/۶۷) و تنش شوری ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر (**r=۰/۵۴) بود (جدول ۹ و ۱۰). کاهش ارتفاع بوته در گیاه نخود در سایر مطالعات نیز گزارش شده که با نتایج این مطالعه هم‌خوانی دارد (Doraki *et al.*, 2018).

در شاهد، همه ژنوتیپ‌ها قادر به حفظ ۱۰۰ درصد برگ‌ها بودند (جدول ۴). بین ۷۰ ژنوتیپ نخود کابلی تحت تأثیر تنش شوری ۱۲ و ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر، تفاوت معنی‌داری از نظر درصد بقای برگ مشاهده شد (جدول ۴). در تنش شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر، بیشترین و کمترین میانگین درصد بقای برگ به‌ترتیب در دامنه بقای ۱۰۰- ۷۶ درصد و ۲۵-۰ درصد مشاهده شد و با کاهش بقا درصد بقای برگ نیز کاهش یافت. به‌طور متوسط، با افزایش تنش شوری از ۱۲ به ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر، درصد بقای برگ در دامنه بقای ۵۰-۲۶ درصد به‌میزان ۱۴ درصد افزایش یافت و در دامنه بقای ۱۰۰-۷۶ درصد تقریباً بدون تغییر باقی ماند. در تنش شوری ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر، بیشترین و کمترین درصد بقای برگ به‌ترتیب در دامنه بقای ۱۰۰-۷۶ و ۲۵-۰ درصد مشاهده شد و درصد بقای برگ با کاهش درصد بقای گیاه، کاهش یافت (شکل ۲ ب).



شکل ۲- متوسط اختلاف ارتفاع بوته (الف) و درصد بقای برگ (ب) نخود در دامنه‌های بقا چهار هفته پس از اعمال تنش شوری

Fig. 2- Δ plant height (A) and leaf survival percentage (B) of chickpea genotypes in survival ranges, after four weeks salinity

جدول ۳- اثر تنش شوری بر اختلاف ارتفاع بوته (سانتی‌متر) در ژنوتیپ‌های نخود کابلی

Table 3- Effect of salinity stress on Δ plant height in chickpea genotypes

ژنوتیپ Genotype	0.5	12	16	ژنوتیپ Genotype	0.5	12	16
	(دسی زیمنس بر متر) ($dS.m^{-1}$)				(دسی‌زیمنس بر متر) ($dS.m^{-1}$)		
MCC1303	15.67	4.83	5.67	MCC1526	16.17	12.33	3.00
MCC1311	14.67	7.17	5.67	MCC1529	13.17	5.00	2.83
MCC1312	8.00	6.67	2.67	MCC1545	6.50	6.00	2.67
MCC1314	13.67	6.50	4.17	MCC1551	7.33	5.67	3.00
MCC1320	15.00	8.67	5.50	MCC1553	10.50	5.67	0.17
MCC1348	7.83	6.33	1.67	MCC1557	15.83	9.83	7.50
MCC1354	8.00	3.17	0.33	MCC1558	11.50	5.00	3.00
MCC1356	6.83	2.33	2.17	MCC1567	9.83	3.17	5.83
MCC1357	7.33	2.17	1.67	MCC1578	9.83	4.67	3.50
MCC1358	15.17	6.00	5.17	MCC1580	7.50	1.67	0.33
MCC1372	7.67	2.83	1.33	MCC1584	8.83	6.33	3.83
MCC1381	8.33	5.67	2.83	MCC1585	15.00	5.83	5.67
MCC1390	13.83	7.17	5.50	MCC1587	8.17	7.67	5.00
MCC1394	16.33	14.27	5.67	MCC1606	9.83	5.67	3.67
MCC1395	21.33	14.00	6.83	MCC1613	17.17	6.33	4.33
MCC1431	14.17	9.50	5.17	MCC1625	11.83	5.83	4.83
MCC1447	19.50	7.83	1.33	MCC1626	16.83	8.50	5.50
MCC1449	9.17	4.67	0.33	MCC1631	14.33	4.17	1.67
MCC1451	6.83	2.50	0.33	MCC1636	14.00	5.83	5.17
MCC1452	9.33	2.00	1.67	MCC1639	15.00	10.40	5.83
MCC1458	8.00	0.50	1.50	MCC1641	14.67	5.83	4.67
MCC1465	19.50	9.17	2.50	MCC1646	14.83	9.17	8.00
MCC1466	20.83	12.67	9.67	MCC1692	13.00	8.17	3.00
MCC1467	15.83	9.67	8.17	MCC1730	8.33	5.67	2.83
MCC1473	9.17	3.83	2.67	MCC1760	17.67	5.67	3.17
MCC1478	13.83	9.33	6.33	MCC1782	7.67	2.17	2.83
MCC1484	14.83	7.33	2.50	MCC1808	14.50	7.83	5.67
MCC1489	7.33	8.67	1.83	MCC1828	11.00	9.83	4.50
MCC1501	5.83	3.17	0.33	MCC1834	8.17	5.33	3.33
MCC1512	10.00	2.00	0.67	MCC1865	15.00	4.83	1.67
MCC1514	12.33	6.50	2.00	MCC1966	8.00	7.17	3.33
MCC1515	19.17	10.67	2.50	MCC2122	16.33	7.83	3.83
MCC1516	15.00	7.33	2.00	MCC2166	17.67	10.00	3.67
MCC1518	13.33	9.00	1.50	MCC2168	13.50	4.33	5.83
MCC1525	7.50	2.33	1.50	MCC2190	22.17	11.17	5.83

منابع تغییرات S.O.V.	تکرار Replication	شوری Salinity	خطای a Error a	ژنوتیپ Genotype	شوری × ژنوتیپ Salinity × genotype	خطا Error	ضریب تغییرات CV (%)	$LSD_{0.05}$
درجه آزادی d.f	2	2	4	69	138	414	33.478	2.967
میانگین مربعات Mean of squares	15.4^{ns}	4302^{**}	23.4	66.4^{**}	13.5^{**}	6.35		

MCC: کلکسیون نخود بانک بذر مشهد، LSD: حداقل تفاوت معنی‌دار، ns، * و **: به‌ترتیب غیر معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد، معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد.

MCC: Mashhad Chickpea Collection, LSD: Last significant difference, ^{ns}, ** and *: non-significant and significant at 1% and 5%, respectively.

وجود ژنوتیپ‌هایی که توانایی حفظ تعداد بـرگ بیشـتری در شرایط تنش شوری داشته باشند، می‌تواند به پژوهشگران در به‌گزینی به‌منظور تحمل به تنش شوری گیاه نخود کمک کنـد. در میـــان ژنوتیپ‌هــا، ژنوتیـــپ MCC1467، MCC1578 و MCC1551 در تنش شوری ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر، بیشــترین درصد بقای برگ را دارا بودند (جـدول ۴). تـنش شـوری باعـث تجمع یون‌های سدیم و کلر و ایجاد سمیت در اندام هوایی گیاه می‌شود که بـارزترین علامـت آن زرد شـدن و سـپس قهـوه‌ای شدن برگ‌ها و سـپس مـرگ بـرگ اسـت (Arif *et al.*, 2020).

کاهش درصد بقای برگ در اثر تنش شوری در گیاه عـدس نیـز گزارش شده است که مشابه نتایج این مطالعه می‌باشد (Nabati *et al.*, 2022b). بررسی همبستگی صفات در تـنش شـوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر بیانگر همبستگی مثبت و معنـی‌دار درصـد بقای برگ با درصد بقا (**r=۰/۵۴) بود (جـدول ۱۰). در تـنش شوری ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر نیز همبستگی مثبت و معنی‌دار درصد بقای برگ با درصد بقا (**r=۰/۸۷) مشاهده شد (جـدول ۱۰).

جدول ۴- اثر تنش شوری بر درصد بقای برگ در ژنوتیپ‌های نخود کابلی

Table 4- Effect of salinity stress on leaf survival percentage in chickpea genotypes

ژنوتیپ Genotype	0.5	12	16	ژنوتیپ Genotype	0.5	12	16
	(دسی زیمنس بر متر) (dS.m^{-1})				(دسی زیمنس بر متر) (dS.m^{-1})		
MCC1303	100	57.3	42.0	MCC1526	100	75.0	48.0
MCC1311	100	64.0	57.3	MCC1529	100	72.3	18.3
MCC1312	100	75.7	63.0	MCC1545	100	71.0	39.0
MCC1314	100	69.7	63.0	MCC1551	100	83.0	86.3
MCC1320	100	70.7	65.7	MCC1553	100	68.3	64.3
MCC1348	100	85.7	68.0	MCC1557	100	70.3	36.0
MCC1354	100	77.0	0.00	MCC1558	100	82.7	52.7
MCC1356	100	67.0	42.7	MCC1567	100	56.3	64.0
MCC1357	100	90.7	85.0	MCC1578	100	97.3	89.0
MCC1358	100	68.7	52.3	MCC1580	100	72.0	18.0
MCC1372	100	77.7	22.3	MCC1584	100	95.7	85.0
MCC1381	100	61.7	18.3	MCC1585	100	76.3	75.0
MCC1390	100	60.3	0.00	MCC1587	100	89.3	70.0
MCC1394	100	69.0	23.0	MCC1606	100	81.3	77.0
MCC1395	100	66.3	57.7	MCC1613	100	67.0	25.0
MCC1431	100	93.0	63.3	MCC1625	100	69.7	19.0
MCC1447	100	78.7	68.3	MCC1626	100	82.7	67.0
MCC1449	100	60.0	27.3	MCC1631	100	57.7	44.7
MCC1451	100	65.7	24.3	MCC1636	100	75.0	72.7
MCC1452	100	71.0	45.0	MCC1639	100	68.6	59.3
MCC1458	100	65.3	27.7	MCC1641	100	64.0	60.7
MCC1465	100	66.0	63.0	MCC1646	100	71.0	73.3
MCC1466	100	73.0	19.7	MCC1692	100	71.7	61.7
MCC1467	100	77.3	90.3	MCC1730	100	85.3	68.7
MCC1473	100	65.3	25.0	MCC1760	100	62.0	20.7
MCC1478	100	64.0	64.7	MCC1782	100	82.3	73.7
MCC1484	100	74.3	39.0	MCC1808	100	82.0	82.0
MCC1489	100	50.3	22.3	MCC1828	100	75.3	67.3
MCC1501	100	49.3	0.00	MCC1834	100	66.3	71.0
MCC1512	100	78.0	44.7	MCC1865	100	63.3	66.3
MCC1514	100	38.7	0.00	MCC1966	100	93.3	80.3
MCC1515	100	73.0	70.0	MCC2122	100	81.3	71.7
MCC1516	100	39.7	35.7	MCC2166	100	67.7	22.3
MCC1518	100	73.7	63.0	MCC2168	100	59.0	61.3
MCC1525	100	71.3	48.0	MCC2190	100	58.7	21.0

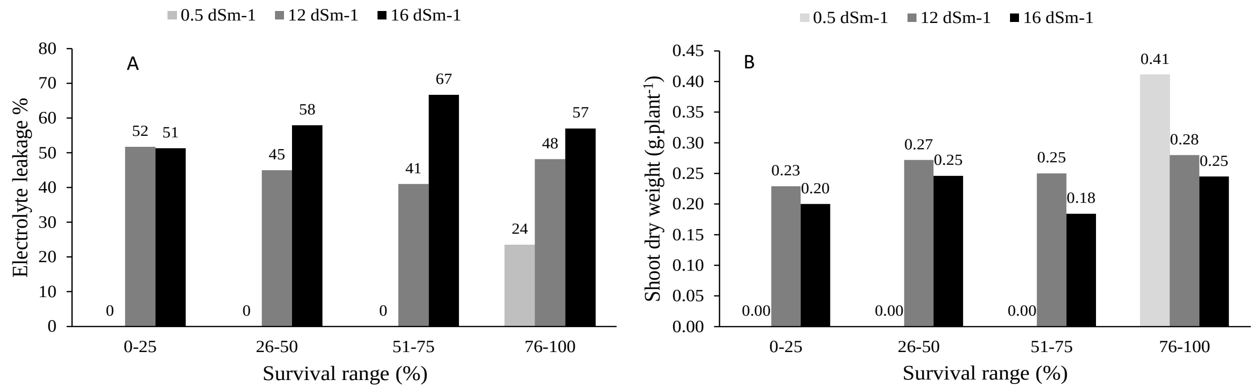
منابع تغییرات S.O.V.	تکرار Replication	شوری Salinity	خطای a Error a	ژنوتیپ Genotype	شوری × ژنوتیپ Salinity × genotype	خطا Error	ضریب تغییرات CV (%)	$LSD_{0.05}$
درجه آزادی d.f	2	2	4	69	138	414	20.038	3.145
میانگین مربعات Mean of squares	6453^{**}	131541^{**}	3730	1074^{**}	560^{**}	219		

MCC: کلکسیون نخود بانک بذر مشهد، LSD: حداقل تفاوت معنی‌دار، ns، * و **: به‌ترتیب غیر معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد، معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد.

MCC: Mashhad Chickpea Collection, LSD: Last significant difference, ^{ns}, ** and *: Non significant and significant at 1% and 5%, respectively.

از نظر میزان نشت الکترولیت‌ها به‌عنوان یکی از معیارهای مهم گیاهان در شرایط تنش‌های غیرزنده محیطی، ژنوتیپ‌های نخود تحت تنش شوری، تفاوت معنی‌داری نشان دادند (جدول ۵). در تنش شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر، میانگین نشت الکترولیت‌ها نسبت به شاهد ۲۸ درصد افزایش یافت و بیشترین میانگین درصد نشت الکترولیت‌ها در دامنه بقای ۲۵-۰ درصد مشاهده شد. با افزایش تنش شوری از ۱۲ به ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر، میانگین درصد نشت الکترولیت‌ها در گیاهان تحت تنش افزایش یافت، به‌طوری‌که در دامنه بقای ۱۰۰-۷۶ درصد و دامنه‌های بقای ۷۵-۵۱ و ۵۰-۲۶ درصد، به‌ترتیب به‌میزان هشت، ۲۵ و ۱۲ درصد میانگین نشت الکترولیت‌ها افزایش یافت (شکل ۳ الف). در تنش شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر درصد نشت الکترولیت‌ها در پنج ژنوتیپ (MCC1314، MCC1578، MCC1631، MCC1865 و MCC1467) کاهش و در سایر ژنوتیپ‌ها افزایش یافت (جدول ۵). با افزایش تنش شوری از ۱۲ به ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر، میزان نشت

الکترولیت‌ها در ۲۶ ژنوتیپ کاهش و در سایر ژنوتیپ‌ها افزایش یافت (جدول ۵). پراکسیداسیون غشاء به‌دلیل شوری و افزایش تولید رادیکال‌های آزاد، مانند پراکسید هیدروژن، باعث از بین رفتن یکپارچگی غشاء و نشت اجزای مهم سلولی می‌شود و در نتیجه، باعث ایجاد مشکلاتی در رشد گیاه می‌شود (Hashem *et al*., 2019).



شکل ۳- متوسط نشت الکترولیت (الف) و وزن خشک اندام هوایی (ب) نخود در دامنه‌های بقا چهار هفته پس از اعمال تنش شوری

Fig. 3- Electrolyte leakage (A) and shoot dry weight (B) of chickpea genotypes in survival ranges, after four weeks salinity

دلیل کاهش نشت الکترولیت‌ها در برخی از ارقام در تنش شوری ممکن است ناشی از چندین مکانیسم تطبیقی باشد. یکی از این مکانیسم‌ها، تولید متابولیت‌های سازگار است، که می‌توانند در سلول‌های گیاهی تجمع کنند و به حفظ تعادل اسمزی سلولی در غلظت‌های بالای شوری کمک کنند. پژوهشگران گزارش کردند که متابولیت‌های سازگار مانند پرولین و گلیسین بتائین در کاهش نشت الکترولیت‌ها و محافظت از غشای سلولی گیاهان تحت تنش شوری نقش دارند (Muchate *et al*., 2016). در مطالعه حاضر نیز ممکن است در ژنوتیپ‌هایی که کاهش نشت الکترولیت‌ها در آن‌ها مشاهده شد، با افزایش سطح تنش شوری متابولیت‌های سازگار بیشتری تولید شده باشد.

وزن خشک گیاه، برآیند تمامی فعالیت‌های گیاه در طول دوره رشد است. بررسی میزان وزن خشک بوته در دامنه‌های بقا تحت تأثیر تنش شوری نشان داد که در تنش شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر میانگین وزن خشک بوته نسبت به شاهد ۴۷ درصد کاهش یافت و بیشترین میانگین وزن خشک در دامنه بقای ۱۰۰-۷۶ درصد مشاهده شد. با افزایش تنش شوری از ۱۲ به ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر میانگین وزن خشک بوته در دامنه‌های بقای ۲۵-۰، ۵۰-۲۶، ۷۵-۵۱ و ۱۰۰-۷۶ درصد به‌میزان ۱۵، ۱۱، ۳۶ و ۱۴ درصد کاهش یافت(شکل ۳ ب). در تنش شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر وزن خشک بوته در ۹ ژنوتیپ افزایش و در ۶۱ ژنوتیپ کاهش یافت (شکل ۳ ب). در این میان، بیشترین میزان افزایش در ژنوتیپ MCC1381 با ۵۸ درصد افزایش مشاهده شد (جدول ۶). با افزایش تنش شوری از ۱۲ به ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر وزن خشک بوته در ۱۸ ژنوتیپ افزایش و در سایر ژنوتیپ‌ها کاهش یافت. در این میان، بیشترین میزان افزایش در ژنوتیپ MCC1782 با ۵۸ درصد افزایش مشاهده شد (جدول ۶). در تنش شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر در میان ژنوتیپ‌ها، به‌طور میانگین ژنوتیپ‌های MCC1551 و MCC1966 به‌ترتیب با ۰/۴۰۶ و ۰/۴۰۳ گرم و در تنش شوری ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر، ژنوتیپ MCC1467 با ۰/۴۲۰ گرم بیشترین میزان تولید ماده خشک در بوته را به خود اختصاص دادند (جدول ۶). بیشترین میزان شاخص تحمل به تنش در تنش شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر و در تنش شوری ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر در ژنوتیپ MCC1467 مشاهده شد (جدول ۶).

مقادیر پایین شاخص TOL نشان دهنده تحمل بالاتر به تنش می‌باشد بر همین اساس بررسی شاخص‌های تحمل نشان داد که ۱۴ و هفت ژنوتیپ دارای کمترین شاخص TOL به‌ترتیب در تنش ۱۲ و ۱۶ دسی زیمنس بر متر بودند و سه ژنوتیپ MCC1312، MCC1390 و MCC1557 در هردو سطح تنش به‌طور مشترک کمترین شاخص TOL را دارا بودند (جدول ۶).

شاخص MP به‌منظور گزینش ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا در شرایط مطلوب و عملکرد پایی در شرایط تنش است و مقادیر بالای شاخص MP نشان دهنده تحمل به تنش بالاتر است؛ بنابراین در این شاخص نیز ۱۴ و هفت ژنوتیپ داری

کمترین شاخص MP به‌ترتیب در تنش ۱۲ و ۱۶ دسی زیمنس بر متر بودند و چهار ژنوتیپ MCC1473، MCC1515، MCC1558 و MCC1808 در هردو سطح تنش به‌طور مشترک بیشترین شاخص MP را دارا بودند (جدول ۶).

شاخص SSI، شاخص حساسیت به تنش است و مقادیر کوچک‌تر بیانگر تحمل بیشتر به تنش است. بررسی این شاخص نشان داد که ۱۳ و چهار ژنوتیپ دارای کمترین شاخص SSI به‌ترتیب در تنش ۱۲ و ۱۶ دسی زیمنس بر متر بودند و دو ژنوتیپ MCC1390 و MCC1557 در هردو سطح تنش به‌طور مشترک کمترین شاخص SSI را دارا بودند (جدول ۶).

GMP شاخص میانگین هندسی بهره‌وری است و مقادیر بزرگ‌تر برای یک ژنوتیپ بیانگر تحمل به تنش بالاتر است. بر همین اساس در این شاخص نیز ۹ و چهار ژنوتیپ داری بیشترین شاخص GMP به‌ترتیب در تنش ۱۲ و ۱۶ دسی زیمنس بر متر بودند و دو ژنوتیپ MCC1515، MCC1558 و MCC1808 در هردو سطح تنش به‌طور مشترک بیشترین شاخص GMP را دارا بودند (جدول ۶).

STI شاخص تحمل به تنش می‌باشد و مقادیر بزرگ‌تر برای یک ژنوتیپ بیانگر تحمل به تنش بالاتر آن ژنوتیپ است. در مطالعه حاضر شش و پنج ژنوتیپ دارای بیشترین شاخص STI به‌ترتیب در تنش ۱۲ و ۱۶ دسی زیمنس بر متر بودند و چهار ژنوتیپ MCC1467، MCC1515، MCC1558 و MCC1808 در هردو سطح تنش به‌طور مشترک بیشترین شاخص STI را دارا بودند (جدول ۶).

در سایر مطالعات اثر منفی افزایش تنش شوری بر وزن خشک گیاهان را گزارش شده است به‌عنوان مثال با افزایش تنش شوری کاهش وزن خشک ساقه در گیاه اسفرزه (*Plantago ovata*) مشاهده شد (Dehghani Tafti *et al.*, 2018). در تنش شوری ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر همبستگی مثبت و معنی‌دار بین وزن خشک بوته و ارتفاع بوته (r=۰/۵۳**) مشاهده شد (جدول ۱۰).

در تنش شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر، میانگین پتانسیل اسمزی نسبت به شاهد دو برابر افزایش یافت و بیشترین میانگین در دامنه بقای ۱۰۰-۷۶ درصد مشاهده شد (شکل ۴ الف). با افزایش تنش شوری از ۱۲ به ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر، میانگین پتانسیل اسمزی در دامنه‌های بقای ۵۰-۲۶، ۷۵-۵۱ و ۱۰۰-۷۶ درصد به‌میزان ۸۹، ۶۶ و ۲۸ درصد افزایش یافت. در این میان، بیشترین میانگین پتانسیل اسمزی در دامنه بقای ۷۵-۵۱ درصد مشاهده شد (شکل ۴ الف). در تنش شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر، پتانسیل اسمزی در تمام ژنوتیپ‌ها افزایش یافت و کمترین میزان افزایش را ژنوتیپ MCC1348 با ۱۵ درصد افزایش دارا بود (جدول ۷). با افزایش تنش شوری از ۱۲ به ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر، پتانسیل اسمزی در ۴۰ ژنوتیپ افزایش و در سایر ژنوتیپ‌ها کاهش یافت. در این میان، کمترین میزان افزایش در ژنوتیپ MCC1551 با پنج درصد افزایش مشاهده شد (جدول ۷). کاهش رشد گیاه تحت شرایط تنش شوری می‌تواند به خشکی القا شده در اثر تنش شوری که موجب کاهش پتانسیل اسمزی در محیط رشد می‌شود و در نهایت، گیاه را مجبور به استفاده از ترکیب‌های یونی برای تنظیم اسمزی می‌کند، مربوط باشد (Doraki *et al*., 2018). کاهش پتانسیل اسمزی گیاه نخود در شرایط تنش شوری در سایر مطالعات نیز گزارش شده که با نتایج حاصل از این مطالعه مطابقت دارد (Nasiri *et al*., 2022).

ارقام متحمل، یون سدیم کمتری در بافت‌های خود دارند و از این رو، نسبت سدیم به پتاسیم در گیاه به‌عنوان شاخصی جهت تحمل گیاه در برابر شوری استفاده می‌شود (Doraki *et al*., 2018). در این آزمایش، در تنش شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر میانگین نسبت سدیم به پتاسیم اندام هوایی نسبت به شاهد هشت برابر افزایش یافت (جدول ۸). در این میان، بیشترین میانگین نسبت سدیم به پتاسیم در دامنه بقای ۲۵-۰ درصد مشاهده شد (شکل ۴ ب). با افزایش تنش شوری از ۱۲ به ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر، میانگین نسبت سدیم به پتاسیم اندام هوایی در دامنه بقای ۵۰-۲۶ درصد تقریباً تغییری نداشت و در دامنه‌های بقای ۲۵-۰، ۷۵-۵۱ و ۱۰۰-۷۶ درصد به‌میزان نه، دو برابر و ۲۲ درصد افزایش یافت (شکل ۴ ب).

جدول ۵- اثر تنش شوری بر درصد نشت الکترولیت‌ها در ژنوتیپ‌های نخود

Table 5- Effect of salinity stress on electrolyte leakage in chickpea genotypes

ژنوتیپ Genotype	0.5	12	16	ژنوتیپ Genotype	0.5	12	16
		(دسی زیمنس بر متر) (dS.m^{-1})				(دسی زیمنس بر متر) (dS.m^{-1})	
MCC1303	28.0	54.0	42.3	MCC1526	29.3	33.3	81.7
MCC1311	18.0	64.7	46.0	MCC1529	41.0	47.7	30.0
MCC1312	16.7	29.3	65.0	MCC1545	12.3	47.0	72.0
MCC1314	45.3	41.0	77.0	MCC1551	18.0	56.0	71.3
MCC1320	19.0	45.3	68.3	MCC1553	12.3	40.3	61.7
MCC1348	15.0	32.0	69.3	MCC1557	25.7	50.0	58.0
MCC1354	12.3	56.7	3.67	MCC1558	46.0	62.7	71.3
MCC1356	19.3	54.3	34.7	MCC1567	9.33	51.7	49.7
MCC1357	10.3	63.7	66.0	MCC1578	55.7	48.0	44.0
MCC1358	40.3	68.0	68.0	MCC1580	19.3	76.7	78.3
MCC1372	10.0	56.7	48.3	MCC1584	14.0	39.3	48.3
MCC1381	14.0	48.7	45.3	MCC1585	29.3	55.7	46.7
MCC1390	17.7	46.3	40.3	MCC1587	12.3	52.7	70.3
MCC1394	36.0	66.3	47.3	MCC1606	53.0	54.7	76.3
MCC1395	38.0	68.0	76.7	MCC1613	35.0	51.3	50.7
MCC1431	26.0	56.3	71.0	MCC1625	15.3	50.0	76.3
MCC1447	20.7	41.3	30.0	MCC1626	17.3	38.3	72.7
MCC1449	30.0	51.3	32.3	MCC1631	38.3	30.7	41.0
MCC1451	18.0	52.3	46.7	MCC1636	22.7	59.7	41.0
MCC1452	13.3	34.3	43.7	MCC1639	12.7	41.0	69.7
MCC1458	15.0	65.3	77.7	MCC1641	41.0	46.7	67.7
MCC1465	18.0	35.0	54.0	MCC1646	23.0	55.7	75.7
MCC1466	28.7	56.0	41.7	MCC1692	16.7	40.0	73.7
MCC1467	44.3	41.7	54.7	MCC1730	8.67	55.0	46.7
MCC1473	12.3	54.3	43.0	MCC1760	56.3	58.0	74.3
MCC1478	21.3	56.0	55.7	MCC1782	18.7	56.7	66.7
MCC1484	8.33	9.33	65.0	MCC1808	8.33	23.7	24.7
MCC1489	11.3	25.0	50.3	MCC1828	25.7	38.0	44.7
MCC1501	13.0	40.3	27.7	MCC1834	52.7	62.3	56.0
MCC1512	16.7	42.7	64.3	MCC1865	43.7	34.3	57.0
MCC1514	16.7	63.0	7.00	MCC1966	20.3	26.3	42.7
MCC1515	37.0	51.7	65.7	MCC2122	16.0	34.3	68.3
MCC1516	22.7	65.0	60.7	MCC2166	23.0	76.7	39.3
MCC1518	12.7	22.7	45.3	MCC2168	17.0	50.3	51.3
MCC1525	14.3	23.0	56.3	MCC2190	15.3	44.3	49.7

منابع تغییرات S.O.V.	تکرار Replication	شوری Salinity	خطای a Error a	ژنوتیپ Genotype	شوری×ژنوتیپ Salinity×genotype	خطا Error	ضریب تغییرات C.V (%)	$LSD_{0.05}$
درجه آزادی d.f	2	2	4	69	138	414	44.169	2.932
میانگین مربعات Mean of squares	1401*	57255**	538	808**	539**	347		

MCC: کلکسیون نخود بانک بذر مشهد، LSD: حداقل تفاوت معنی‌دار، ns، * و **: به‌ترتیب غیر معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد، معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد.

MCC: Mashhad Chickpea Collection, LSD: Last significant difference, ^{ns}, ** and *: Non significant and significant at 1% and 5%, respectively.

جدول ۶- اثر تنش شوری بر وزن خشک اندام هوایی و شاخص‌های تحمل به شوری ژنوتیپ‌های نخود

Table 6- Effect of salinity stress on shoot dry weight and salt resistance indexes of chickpea genotypes

ژنوتیپ Genotype	وزن خشک اندام هوایی (گرم در بوته) Shoot dry weight (g.plant^{-1})			TOL 12	MP12	SSI12	GM P12	STI12	TOL 16	MP16	SSI16	GM P16	STI 16
	0.5	12	16										
MCC1303	0.338	0.217	0.199	0.12	0.28	0.12	0.27	0.42	0.14	0.27	0.19	0.26	0.40
MCC1311	0.417	0.316	0.193	0.10	0.37	0.08	0.36	0.76	0.22	0.31	0.25	0.28	0.47
MCC1312	0.176	0.220	0.151	0.04	0.20	0.07	0.20	0.22	0.03	0.16	0.07	0.16	0.16
MCC1314	0.352	0.217	0.217	0.13	0.29	0.13	0.28	0.44	0.14	0.28	0.18	0.28	0.45
MCC1320	0.476	0.253	0.225	0.22	0.37	0.16	0.35	0.69	0.25	0.35	0.25	0.33	0.63
MCC1348	0.366	0.342	0.231	0.02	0.35	0.02	0.35	0.72	0.14	0.30	0.17	0.29	0.50
MCC1354	0.538	0.256	0.090	0.28	0.40	0.18	0.37	0.79	0.45	0.31	0.39	0.22	0.29
MCC1356	0.320	0.180	0.261	0.14	0.25	0.15	0.24	0.33	0.06	0.29	0.09	0.29	0.49
MCC1357	0.441	0.298	0.243	0.14	0.37	0.11	0.36	0.76	0.20	0.34	0.21	0.33	0.63
MCC1358	0.487	0.305	0.238	0.18	0.40	0.13	0.39	0.86	0.25	0.36	0.24	0.34	0.68
MCC1372	0.432	0.336	0.176	0.10	0.38	0.08	0.38	0.84	0.26	0.30	0.28	0.28	0.45
MCC1381	0.206	0.326	0.236	0.12	0.27	0.13	0.26	0.39	0.03	0.22	0.06	0.22	0.29
MCC1390	0.246	0.229	0.268	0.02	0.24	0.02	0.24	0.32	0.02	0.26	0.04	0.26	0.39
MCC1394	0.511	0.208	0.110	0.30	0.36	0.21	0.33	0.61	0.40	0.31	0.37	0.24	0.33
MCC1395	0.242	0.178	0.174	0.06	0.21	0.09	0.21	0.25	0.07	0.21	0.13	0.21	0.25
MCC1431	0.350	0.323	0.191	0.03	0.34	0.03	0.34	0.65	0.16	0.27	0.21	0.26	0.39
MCC1447	0.427	0.347	0.173	0.08	0.39	0.07	0.39	0.85	0.25	0.30	0.28	0.27	0.44
MCC1449	0.397	0.185	0.125	0.21	0.29	0.19	0.27	0.42	0.27	0.26	0.32	0.22	0.29
MCC1451	0.555	0.326	0.160	0.23	0.44	0.14	0.43	1.04	0.40	0.36	0.33	0.30	0.53
MCC1452	0.466	0.258	0.179	0.21	0.36	0.16	0.35	0.69	0.29	0.32	0.29	0.29	0.49
MCC1458	0.499	0.192	0.242	0.31	0.35	0.21	0.31	0.55	0.26	0.37	0.24	0.35	0.71
MCC1465	0.401	0.235	0.219	0.17	0.32	0.14	0.31	0.54	0.18	0.31	0.21	0.30	0.52
MCC1466	0.469	0.320	0.190	0.15	0.40	0.11	0.39	0.86	0.28	0.33	0.28	0.30	0.53
MCC1467	0.650	0.388	0.420	0.26	0.52	0.14	0.50	1.45	0.23	0.54	0.17	0.52	1.61
MCC1473	0.555	0.360	0.240	0.20	0.46	0.12	0.45	1.15	0.32	0.40	0.27	0.37	0.79
MCC1478	0.302	0.212	0.286	0.09	0.26	0.10	0.25	0.37	0.02	0.29	0.03	0.29	0.51
MCC1484	0.532	0.300	0.188	0.23	0.42	0.15	0.40	0.92	0.34	0.36	0.30	0.32	0.59
MCC1489	0.346	0.302	0.136	0.04	0.32	0.05	0.32	0.60	0.21	0.24	0.28	0.22	0.28
MCC1501	0.236	0.170	0.089	0.07	0.20	0.10	0.20	0.23	0.15	0.16	0.29	0.15	0.12
MCC1512	0.447	0.241	0.156	0.21	0.34	0.16	0.33	0.62	0.29	0.30	0.31	0.26	0.41
MCC1514	0.392	0.287	0.107	0.11	0.34	0.09	0.34	0.65	0.29	0.25	0.34	0.21	0.25
MCC1515	0.652	0.319	0.292	0.33	0.49	0.18	0.46	1.20	0.36	0.47	0.26	0.44	1.12
MCC1516	0.302	0.242	0.214	0.06	0.27	0.07	0.27	0.42	0.09	0.26	0.14	0.25	0.38
MCC1518	0.403	0.287	0.091	0.12	0.35	0.10	0.34	0.67	0.31	0.25	0.36	0.19	0.22
MCC1525	0.462	0.267	0.220	0.20	0.36	0.15	0.35	0.71	0.24	0.34	0.25	0.32	0.60
MCC1526	0.433	0.268	0.208	0.17	0.35	0.13	0.34	0.67	0.23	0.32	0.24	0.30	0.53
MCC1529	0.350	0.311	0.221	0.04	0.33	0.04	0.33	0.63	0.13	0.29	0.17	0.28	0.46
MCC1545	0.264	0.266	0.201	0.00	0.27	0.00	0.27	0.40	0.06	0.23	0.11	0.23	0.31
MCC1551	0.406	0.413	0.253	0.01	0.41	0.01	0.41	0.96	0.15	0.33	0.18	0.32	0.60
MCC1553	0.391	0.354	0.197	0.04	0.37	0.03	0.37	0.80	0.19	0.29	0.23	0.28	0.45
MCC1557	0.301	0.331	0.335	0.03	0.32	0.03	0.32	0.57	0.03	0.32	0.05	0.32	0.60
MCC1558	0.552	0.269	0.342	0.28	0.41	0.18	0.39	0.86	0.21	0.45	0.18	0.44	1.11
MCC1567	0.543	0.232	0.192	0.31	0.39	0.20	0.36	0.72	0.35	0.37	0.30	0.32	0.61
MCC1578	0.468	0.287	0.366	0.18	0.38	0.13	0.37	0.77	0.10	0.42	0.10	0.41	1.01
MCC1580	0.524	0.185	0.212	0.34	0.36	0.23	0.31	0.56	0.31	0.37	0.28	0.33	0.66
MCC1584	0.354	0.386	0.202	0.03	0.37	0.03	0.37	0.79	0.15	0.28	0.20	0.27	0.42
MCC1585	0.395	0.471	0.244	0.08	0.43	0.06	0.43	1.07	0.15	0.32	0.18	0.31	0.57
MCC1587	0.201	0.287	0.201	0.09	0.24	0.10	0.24	0.33	0.00	0.20	0.00	0.20	0.24
MCC1606	0.388	0.313	0.300	0.08	0.35	0.07	0.35	0.70	0.09	0.34	0.11	0.34	0.69
MCC1613	0.498	0.186	0.166	0.31	0.34	0.22	0.31	0.53	0.33	0.33	0.31	0.29	0.49
MCC1625	0.362	0.304	0.240	0.06	0.33	0.06	0.33	0.63	0.12	0.30	0.16	0.29	0.51
MCC1626	0.412	0.278	0.195	0.13	0.35	0.11	0.34	0.66	0.22	0.30	0.25	0.28	0.47
MCC1631	0.554	0.221	0.257	0.33	0.39	0.21	0.35	0.71	0.30	0.41	0.25	0.38	0.84
MCC1636	0.410	0.348	0.306	0.06	0.38	0.05	0.38	0.82	0.11	0.36	0.12	0.35	0.74
MCC1639	0.307	0.250	0.254	0.06	0.28	0.06	0.28	0.44	0.05	0.28	0.08	0.28	0.46
MCC1641	0.335	0.184	0.266	0.15	0.26	0.16	0.25	0.35	0.07	0.30	0.10	0.30	0.53
MCC1646	0.352	0.315	0.272	0.04	0.33	0.04	0.33	0.64	0.08	0.31	0.11	0.31	0.56
MCC1692	0.380	0.237	0.203	0.14	0.31	0.13	0.30	0.52	0.18	0.29	0.22	0.28	0.46
MCC1730	0.420	0.386	0.274	0.03	0.40	0.03	0.40	0.93	0.15	0.35	0.16	0.34	0.68
MCC1760	0.263	0.167	0.206	0.10	0.22	0.13	0.21	0.25	0.06	0.24	0.10	0.23	0.32
MCC1782	0.355	0.165	0.259	0.19	0.26	0.19	0.24	0.34	0.10	0.31	0.13	0.30	0.54
MCC1808	0.732	0.343	0.246	0.39	0.54	0.19	0.50	1.44	0.49	0.49	0.31	0.42	1.06

ادامه جدول ۶- اثر تنش شوری بر وزن خشک اندام هوایی و شاخص‌های تحمل به شوری ژنوتیپ‌های نخود

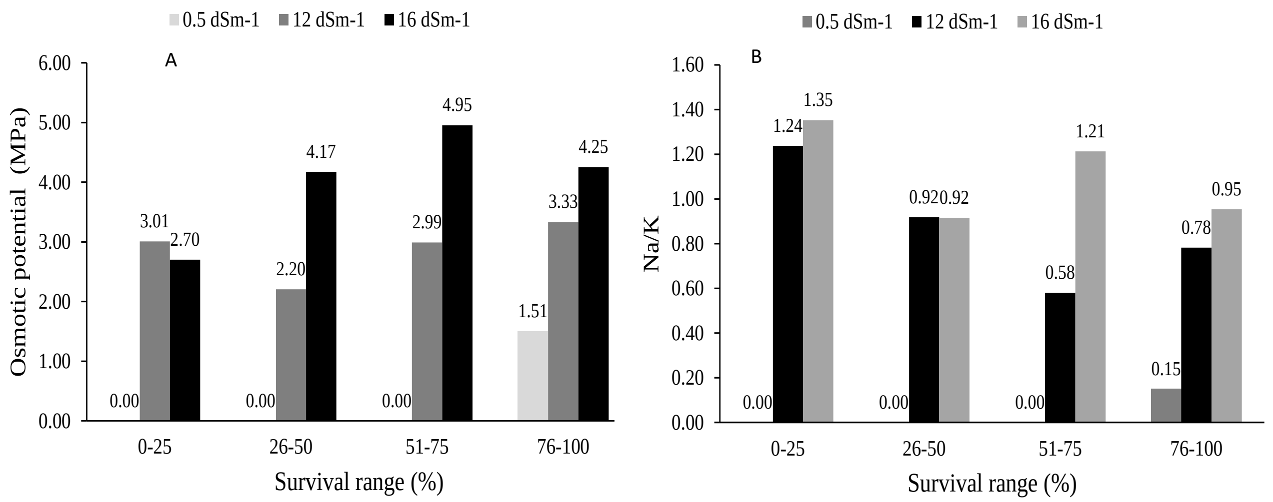
Table 6- Effect of salinity stress on shoot dry weight and salt resistance indexes of chickpea genotypes, Continued

ژنوتیپ Genotype	وزن خشک اندام هوایی (گرم در بوته) Shoot dry weight (g.plant^{-1})			TOL 12	MP12	SSI12	GM P12	STI12	TOL 16	MP16	SSI16	GM P16	STI 16
	0.5	12	16										
MCC1828	0.494	0.276	0.296	0.22	0.39	0.15	0.37	0.79	0.20	0.40	0.19	0.38	0.86
MCC1834	0.377	0.281	0.296	0.10	0.33	0.09	0.33	0.61	0.08	0.34	0.10	0.33	0.66
MCC1865	0.475	0.198	0.244	0.28	0.34	0.20	0.31	0.54	0.23	0.36	0.23	0.34	0.68
MCC1966	0.403	0.441	0.196	0.04	0.42	0.03	0.42	1.02	0.21	0.30	0.24	0.28	0.47
MCC2122	0.332	0.249	0.239	0.08	0.29	0.09	0.29	0.47	0.09	0.29	0.13	0.28	0.47
MCC2166	0.474	0.273	0.099	0.20	0.37	0.15	0.36	0.74	0.38	0.29	0.37	0.22	0.28
MCC2168	0.463	0.269	0.288	0.19	0.37	0.15	0.35	0.72	0.17	0.38	0.18	0.37	0.79
MCC2190	0.401	0.283	0.177	0.12	0.34	0.10	0.34	0.65	0.22	0.29	0.26	0.27	0.42

منابع تغییرات S.O.V.	تکرار Replication	شوری Salinity	خطای a Error a	ژنوتیپ Genotype	شوری × ژنوتیپ Salinity× genotype	خطا Error	ضریب تغییرات CV (%)	LSD$_{0.05}$
درجه آزادی d.f	2	2	4	69	138	414	33.011	2.969
میانگین مربعات Mean of squares	0.071**	2.01**	0.038	0.028**	0.017**	0.01		

MCC: کلکسیون نخود بانک بذر مشهد، LSD: حداقل تفاوت معنی‌دار، ns، * و **: به‌ترتیب غیر معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد، معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد.

MCC: Mashhad Chickpea Collection, LSD: Last significant difference, ns, ** and *: Non significant and significant at 1% and 5%, respectively.



شکل ۴- متوسط پتانسیل اسمزی (الف) و نسبت سدیم به پتاسیم (ب) نخود در دامنه‌های بقاء چهار هفته پس از اعمال تنش شوری

Fig. 4- Osmotic potential (A) and Na.K^{-1}ratio (B) of chickpea genotypes in survival ranges, after four weeks salinity

همچنین، بیشترین میانگین نسبت سدیم به پتاسیم اندام هوایی در دامنه بقای ۲۵-۰ درصد مشاهده شد (شکل ۴ ب). در مقادیر زیاد سدیم، از جذب عناصر غذایی مانند پتاسیم در بافت‌های گیاهی ممانعت به عمل می‌آید که نتیجه آن افزایش نسبت سدیم به پتاسیم می‌باشد (Doraki *et al.*, 2018). در تنش شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر، نسبت سدیم به پتاسیم تنها در ژنوتیپ MCC1966 کاهش و در سایر ژنوتیپ‌ها افزایش یافت. در این میان، کمترین میزان افزایش در ژنوتیپ MCC1587 با ۰/۸ درصد افزایش مشاهده شد (جدول ۸). با افزایش تنش شوری از ۱۲ به ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر، نسبت سدیم به پتاسیم در ۱۲ ژنوتیپ کاهش و در سایر ژنوتیپ‌ها افزایش یافت. همچنین کمترین میزان افزایش

در ژنوتیپ MCC1358 با سه درصد افزایش مشاهده شد (جدول ۸).

از طریق تجزیه به عامل‌ها می‌توان به تأثیر شرایط تنش بر اهمیت گروه‌بندی صفات پی برد. ضرایب عامل‌ها بر مبنای تجزیه به مؤلفه‌های اصلی برآورد گردید (جدول ۱۱). عامل اول حدود ۴۰/۵ درصد از تغییرات را توجیه کرد که شامل وزن خشک بوته، شاخص تحمل در تنش شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر (TOL12)، شاخص بهره‌وری متوسط در تنش شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر (MP12)، شاخص میانگین هندسی بهره‌وری در تنش شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر (GMP12)، شاخص تحمل به تنش در تنش شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر (STI12)،

جدول ۷- اثر تنش شوری بر قدر مطلق پتانسیل اسمزی (مگا پاسکال) در ژنوتیپ‌های نخود کابلی

Table 7- Effect of salinity stress on absolute osmotic potential (MPa) in chickpea genotypes

ژنوتیپ Genotype	0.5	12	16	ژنوتیپ Genotype	0.5	12	16
	دسی‌زیمنس بر متر (dS.m^{-1})				دسی‌زیمنس بر متر (dS.m^{-1})		
MCC1303	1.46	3.95	3.79	MCC1526	1.55	3.69	5.81
MCC1311	1.23	2.56	4.63	MCC1529	1.34	3.11	1.99
MCC1312	1.50	2.64	3.55	MCC1545	1.74	3.47	4.28
MCC1314	1.43	3.12	5.60	MCC1551	1.42	3.01	3.16
MCC1320	2.68	3.28	5.28	MCC1553	1.41	2.26	3.94
MCC1348	1.67	1.92	5.38	MCC1557	1.46	2.68	5.31
MCC1354	1.38	4.63	0.00	MCC1558	1.56	2.61	2.56
MCC1356	1.64	5.35	2.69	MCC1567	1.74	4.37	4.23
MCC1357	1.38	2.77	3.78	MCC1578	1.58	2.45	2.71
MCC1358	1.38	2.79	4.08	MCC1580	1.70	3.46	1.23
MCC1372	1.36	3.88	1.36	MCC1584	1.41	1.94	4.25
MCC1381	1.57	6.78	2.73	MCC1585	1.55	2.66	4.97
MCC1390	2.46	6.88	0.00	MCC1587	1.43	2.19	4.54
MCC1394	1.28	5.56	1.58	MCC1606	1.55	2.34	2.84
MCC1395	1.58	4.04	6.29	MCC1613	1.42	3.87	2.18
MCC1431	1.65	2.82	4.49	MCC1625	1.37	2.95	4.71
MCC1447	1.26	2.52	7.09	MCC1626	1.26	3.05	4.73
MCC1449	1.44	3.49	1.99	MCC1631	1.50	5.34	3.65
MCC1451	1.30	2.48	1.82	MCC1636	1.46	3.11	3.00
MCC1452	1.45	3.16	3.14	MCC1639	1.30	2.99	6.08
MCC1458	1.53	3.86	2.56	MCC1641	1.40	3.34	4.33
MCC1465	1.14	3.08	5.48	MCC1646	1.59	4.61	3.82
MCC1466	1.50	5.05	3.00	MCC1692	1.44	2.28	3.59
MCC1467	1.45	2.56	3.11	MCC1730	1.69	2.40	4.56
MCC1473	1.36	3.53	2.17	MCC1760	1.36	2.37	2.12
MCC1478	1.58	3.70	3.11	MCC1782	1.71	2.68	2.86
MCC1484	1.37	2.84	4.26	MCC1808	1.28	2.49	4.57
MCC1489	1.60	2.53	2.22	MCC1828	1.40	3.63	4.07
MCC1501	1.40	2.86	0.00	MCC1834	1.49	3.28	4.61
MCC1512	1.50	3.47	2.39	MCC1865	1.48	3.85	4.36
MCC1514	1.74	3.15	0.00	MCC1966	1.40	2.02	3.39
MCC1515	1.69	2.31	7.07	MCC2122	1.63	3.07	4.55
MCC1516	1.61	1.88	2.29	MCC2166	1.41	3.03	1.99
MCC1518	1.32	3.05	5.92	MCC2168	1.56	4.61	3.74
MCC1525	1.49	2.57	4.12	MCC2190	1.35	3.72	1.69

منابع تغییرات S.O.V.	تکرار Replication	شوری Salinity	خطای a Error a	ژنوتیپ Genotype	شوری × ژنوتیپ Salinity × genotype	خطا Error	ضریب تغییرات CV (%)	$LSD_{0.05}$
درجه آزادی d.f	2	2	4	69	138	414	49.678	3.167
میانگین مربعات Mean of squares	40.3**	257**	36.2	2.74*	4.20**	1.9		

MCC: کلکسیون نخود بانک بذر مشهد، LSD: حداقل تفاوت معنی‌دار، ns، * و **: به‌ترتیب غیر معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد، معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد.

MCC: Mashhad Chickpea Collection, LSD: Last significant difference, [ns], [**] and [*]: Non significant and significant at 1% and 5%, respectively.

جدول ۸- اثر تنش شوری بر نسبت سدیم به پتاسیم اندام هوایی در ژنوتیپ‌های نخود کابلی

Table 8- Effect of salinity stress on $Na.K^{-1}$ in chickpea genotypes

ژنوتیپ Genotype	0.5	12	16	ژنوتیپ Genotype	0.5	12	16
	دسی‌زیمنس بر متر ($dS.m^{-1}$)				دسی‌زیمنس بر متر ($dS.m^{-1}$)		
MCC1303	0.050	1.36	1.02	MCC1526	0.090	0.993	2.13
MCC1311	0.073	0.657	0.967	MCC1529	0.110	1.03	1.79
MCC1312	0.103	0.767	1.30	MCC1545	0.127	0.797	2.03
MCC1314	0.137	0.883	1.40	MCC1551	0.233	0.783	0.600
MCC1320	0.377	0.703	1.05	MCC1553	0.093	0.443	1.08
MCC1348	0.080	0.343	0.900	MCC1557	0.110	0.843	1.04
MCC1354	0.130	0.820	1.61	MCC1558	0.083	1.27	0.800
MCC1356	0.047	0.697	0.603	MCC1567	0.563	0.587	0.683
MCC1357	0.163	1.05	0.930	MCC1578	0.160	0.417	0.683
MCC1358	0.080	0.913	0.940	MCC1580	0.093	0.580	1.48
MCC1372	0.193	0.700	0.987	MCC1584	0.093	0.167	0.707
MCC1381	0.113	0.897	1.74	MCC1585	0.067	0.660	1.28
MCC1390	0.193	1.15	1.73	MCC1587	0.367	0.370	0.907
MCC1394	0.120	1.19	0.120	MCC1606	0.070	0.357	0.733
MCC1395	0.097	0.990	1.43	MCC1613	0.110	1.13	1.41
MCC1431	0.160	0.243	1.23	MCC1625	0.073	0.673	1.32
MCC1447	0.090	0.333	1.10	MCC1626	0.077	0.677	1.04
MCC1449	0.260	1.14	1.21	MCC1631	0.080	0.863	1.23
MCC1451	0.187	0.513	1.39	MCC1636	0.167	0.860	0.693
MCC1452	0.070	0.623	1.07	MCC1639	0.097	0.580	1.75
MCC1458	0.087	0.877	1.13	MCC1641	0.107	0.853	1.83
MCC1465	0.223	0.813	0.887	MCC1646	0.093	0.627	0.657
MCC1466	0.093	1.38	0.977	MCC1692	0.077	0.420	1.01
MCC1467	0.460	0.577	0.773	MCC1730	0.117	0.760	1.40
MCC1473	0.153	0.703	1.18	MCC1760	0.093	0.493	1.32
MCC1478	0.087	1.56	0.777	MCC1782	0.103	0.427	0.867
MCC1484	0.060	0.480	1.98	MCC1808	0.810	2.37	0.880
MCC1489	0.167	0.823	1.16	MCC1828	0.140	0.953	0.707
MCC1501	0.220	1.14	1.49	MCC1834	0.097	0.967	1.15
MCC1512	0.220	0.773	0.863	MCC1865	0.077	0.750	1.20
MCC1514	0.083	1.34	2.15	MCC1966	0.303	0.240	1.06
MCC1515	0.137	0.497	0.857	MCC2122	0.083	0.707	1.27
MCC1516	0.290	1.01	1.35	MCC2166	0.080	0.657	2.30
MCC1518	0.073	0.673	0.840	MCC2168	0.070	1.17	0.827
MCC1525	0.213	0.677	0.743	MCC2190	0.090	0.980	1.45

منابع تغییرات S.O.V.	تکرار Replication	شوری Salinity	خطای a Error a	ژنوتیپ Genotype	شوری × ژنوتیپ Salinity × genotype	خطا Error	ضریب تغییرات CV (%)	$LSD_{0.05}$
درجه آزادی d.f	2	2	4	69	138	414	40.786	2.937
میانگین مربعات Mean of squares	0.315*	55.0**	0.152	0.338**	0.308**	0.082		

MCC: کلکسیون نخود بانک بذر مشهد، LSD: حداقل تفاوت معنی‌دار، ns، * و **: به‌ترتیب غیر معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد، معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد.

MCC: Mashhad Chickpea Collection, LSD: Last significant difference, ^{ns}, ** and *: Non significant and significant at 1% and 5%, respectively.

جدول ۹- ضرایب همبستگی بین صفات اندازه‌گیری شده ژنوتیپ‌های نخود کابلی در شاهد

Table 9- Coefficient of correlations of measured traits of chickpea genotypes in control

شماره NO.	صفات Parameter	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.
1.	بقا Survival	1							
2.	ارتفاع بوته Plant height	0.00^{ns}	1						
3.	اختلاف ارتفاع بوته ΔPlant height	0.00^{ns}	0.79^{**}	1					
4.	بقای برگ Leaf survival	0.00^{ns}	0.00^{ns}	0.00^{ns}	1				
5.	نشت الکترولیت Electrolyte leakage	0.00^{ns}	0.33^{**}	0.32^{ns}	0.00^{ns}	1			
6.	وزن خشک بوته Dry weight	0.00^{ns}	0.46^{**}	0.11^{ns}	0.00^{ns}	0.07^{ns}	1		
7.	پتانسیل اسمزی Osmotic potential	0.00^{ns}	-0.06^{ns}	-0.09^{ns}	0.00^{ns}	-0.04^{ns}	-0.13^{ns}	1	
8.	$Na.K^{-1}$	0.00^{ns}	-0.02^{ns}	-0.10^{ns}	0.00^{ns}	-0.18^{ns}	0.33^{**}	0.12^{ns}	1

ns، * و **: به‌ترتیب غیر معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد، معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد

^{ns}, ** and *: Non significant and significant at 1% and 5%, respectively.

شاخص بهره‌وری متوسط در تنش شوری ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر (MP16)، شاخص میانگین هندسی بهره‌وری در تنش شوری ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر (GMP16) و شاخص تحمل به تنش در تنش شوری ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر (STI16) با بار منفی بود. عامل دوم حدود ۱۹/۸ درصد از تغییرات را توجیه کرد که شامل درصد بقا و درصد بقای برگ با بار مثبت و نسبت سدیم به پتاسیم، شاخص تحمل در تنش شوری ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر (TOL16) و شاخص حساسیت به تنش در تنش شوری ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر (SSI16) با بار منفی بود. عامل سوم حدود ۱۱/۵ درصد از تغییرات را توجیه کرد که شامل ارتفاع بوته، درصد نشت الکترولیت‌ها، پتانسیل اسمزی و شاخص حساسیت به تنش در تنش شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر (SSI12) با بار منفی بود. عامل چهارم حدود ۹/۱ درصد از تغییرات را توجیه کرد که اختلاف ارتفاع بوته با بار منفی بیشترین تأثیر را در این عامل داشت (جدول ۱۱).

از صفات دو عامل اول و دوم که بیشترین تغییرات واریانس داده‌ها را توجیه کردند، شامل وزن خشک بوته، شاخص تحمل در تنش شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر (TOL12)، شاخص بهره‌وری متوسط در تنش شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر (MP12)، شاخص میانگین هندسی بهره‌وری در تنش شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر (GMP12)، شاخص تحمل به تنش در تنش شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر (STI12)، شاخص بهره‌وری متوسط در تنش شوری ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر (MP16)، شاخص میانگین هندسی بهره‌وری در تنش شوری ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر (GMP16)، شاخص تحمل به تنش در تنش شوری ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر (STI16)، درصد بقا، درصد بقای برگ، نسبت سدیم به پتاسیم، شاخص تحمل در تنش شوری ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر (TOL16) و شاخص حساسیت به تنش در تنش شوری ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر (SSI16) برای به‌دست آوردن پراکنش و شناسایی ژنوتیپ‌های برتر در دستگاه مختصات استفاده شد. ژنوتیپ‌های MCC1587، MCC1646، MCC1782، MCC2122، MCC1478، MCC1557، MCC1356، MCC1431، MCC1692، MCC1639، MCC1314، MCC1641، MCC1465، MCC1625، MCC1312، MCC1395، MCC1545، MCC1760 و MCC1390 از نظر عامل‌های اول و دوم به‌عنوان ژنوتیپ‌های برتر مشاهده شدند (شکل ۵).

جدول ۱۰- ضرایب همبستگی بین صفات اندازه‌گیری شده ژنوتیپ‌های نخود کابلی تحت تأثیر تنش شوری قطر بالا ۱۲ و قطر پایین ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر

Table 10- Coefficient of correlations of measured traits of chickpea genotypes in salinity stress the upper diameter 12 and the lower diameter 16 dS.m^{-1}

NO.	صفات Parameter	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.
1.	بقا Survival	1	0.19^{ns}	-0.09^{ns}	0.54**	0.04^{ns}	0.13^{ns}	0.12^{ns}	-0.20^{ns}	0.15^{ns}	0.21^{ns}	0.11^{ns}	0.19^{ns}	0.17^{ns}
2.	ارتفاع بوته Plant height	0.12^{ns}	1	0.67**	0.22^{ns}	0.07^{ns}	0.23*	0.09^{ns}	-0.07^{ns}	-0.04^{ns}	0.20^{ns}	-0.11^{ns}	0.23*	0.23*
3.	اختلاف ارتفاع بوته ΔPlant height	0.18^{ns}	0.54**	1	0.03^{ns}	-0.08^{ns}	0.13^{ns}	0.03^{ns}	0.12^{ns}	-0.18^{ns}	0.00^{ns}	-0.22^{ns}	0.03^{ns}	0.04^{ns}
4.	بقای برگ Leaf survival	0.87**	0.27*	0.24*	1	-0.14^{ns}	0.43**	-0.34**	-0.39**	-0.10^{ns}	0.30**	-0.20^{ns}	0.34**	0.33**
5.	نشت الکترولیت Electrolyte leakage	0.21^{ns}	0.09$^{n}_{s}$	0.15^{ns}	0.35**	1	-0.12^{ns}	0.16^{ns}	0.10^{ns}	0.02^{ns}	-0.09^{ns}	0.07^{ns}	-0.10^{ns}	-0.11^{ns}
6.	وزن خشک بوته Dry weight	0.34**	0.53**	0.38**	0.52**	0.31**	1	-0.33**	-0.24*	-0.32**	0.64**	-0.56**	0.74**	0.74**
7.	پتانسیل اسمزی Osmotic potential	0.52**	0.20^{ns}	0.26*	0.65**	0.43**	0.26*	1	0.36**	0.20^{ns}	-0.19^{ns}	0.26*	-0.25*	-0.27*
8.	سدیم/پتاسیم Na.K^{-1}	-0.43**	-0.40**	-0.19^{ns}	-0.51**	-0.08^{ns}	-0.32**	-0.15^{ns}	1	0.26*	0.00^{ns}	0.24*	-0.04^{ns}	-0.01^{ns}
9.	TOL	-0.22^{ns}	-0.09^{ns}	-0.25*	-0.21^{ns}	-0.37**	-0.41**	-0.16^{ns}	-0.02^{ns}	1	0.47**	0.94**	0.32**	0.33**
10.	MP	0.17^{ns}	0.43**	0.15^{ns}	0.34**	-0.01^{ns}	0.61**	0.12^{ns}	-0.34**	0.47**	1	0.18^{ns}	0.99**	0.98**
11.	SSI	-0.25*	-0.27*	-0.35**	-0.32**	-0.40**	-0.63**	-0.21^{ns}	0.06^{ns}	0.93**	0.20^{ns}	1	0.03^{ns}	0.03^{ns}
12.	GMP	0.25*	0.49**	0.23^{ns}	0.45**	0.14^{ns}	0.80**	0.21^{ns}	-0.37**	0.21^{ns}	0.96**	-0.05^{ns}	1	0.99**
13.	STI	0.26*	0.48**	0.23^{ns}	0.45**	0.10^{ns}	0.79**	0.18^{ns}	-0.36**	0.21^{ns}	0.95**	-0.05^{ns}	0.98**	1

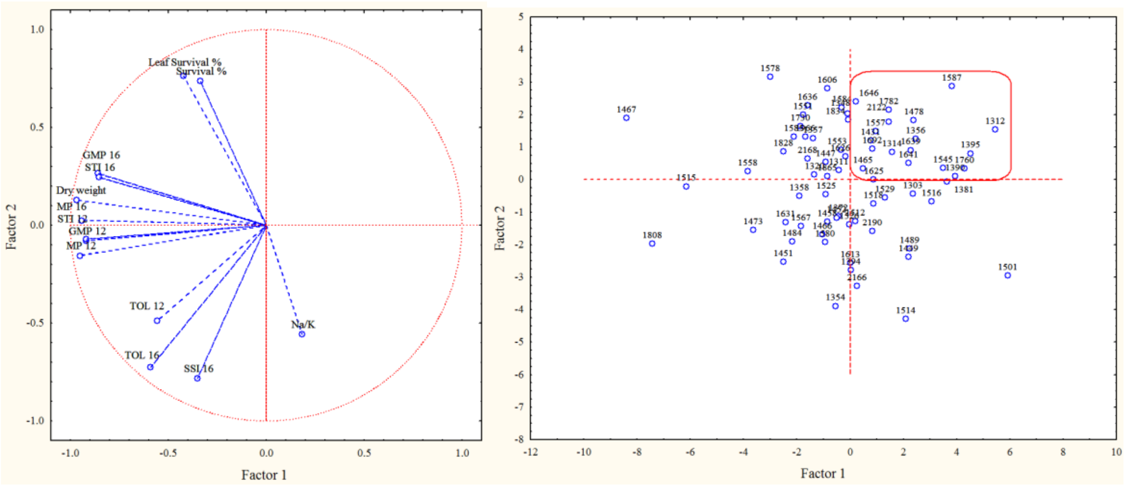
ns، * و **: به‌ترتیب غیر معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد، معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد

^{ns}, ** and *: Non significant and significant at 1% and 5%, respectively.

جدول ۱۱- تجزیه به عامل‌ها برای ژنوتیپ‌های نخود

Table 11- Factor analysis for chickpea genotypes

صفات Traits	مؤلفه ۱ Factor 1	مؤلفه ۲ Factor 2	مؤلفه ۳ Factor 3	مؤلفه ۴ Factor 4	مؤلفه ۵ Factor 5
درصد بقا Survival percentage	-0.316	0.707	0.201	0.050	0.448
درصد بقای برگ Leaf survival percentage	-0.397	0.728	0.211	0.109	0.347
ارتفاع بوته Plant height	-0.457	0.188	-0.519	-0.511	0.009
اختلاف ارتفاع بوته ΔPlant height	-0.108	0.265	-0.541	-0.704	-0.007
نشت الکترولیت Electrolyte leakage	0.016	0.429	-0.520	0.283	-0.149
پتانسیل اسمزی Osmotic Potential	-0.066	0.428	-0.431	-0.301	0.368
وزن خشک Dry weight	-0.956	0.159	0.131	-0.009	-0.182
نسبت سدیم به پتاسیم $Na.K^{-1}$	0.168	-0.494	-0.214	-0.260	-0.456
شاخص تحمل ۱۲ دسی زیمنس بر متر TOL $12dS.m^{-1}$	-0.600	-0.515	-0.447	0.319	0.218
شاخص بهره‌وری متوسط ۱۲ دسی زیمنس بر متر MP 12 $dS.m^{-1}$	-0.941	-0.121	0.248	-0.152	-0.025
شاخص حساسیت به تنش ۱۲ دسی زیمنس بر متر SSI 12 $dS.m^{-1}$	-0.343	-0.513	-0.564	0.422	0.296
شاخص میانگین هندسی بهره‌وری ۱۲ دسی زیمنس بر متر GMP 12 $dS.m^{-1}$	-0.902	-0.040	0.337	-0.225	-0.066
شاخص تحمل به تنش ۱۲ دسی زیمنس بر متر STI 12 $dS.m^{-1}$	-0.903	-0.032	0.323	-0.223	-0.098
شاخص تحمل ۱۶ دسی زیمنس بر متر TOL 16 $dS.m^{-1}$	-0.609	-0.709	0.038	-0.134	0.281
شاخص بهره‌وری متوسط ۱۶ دسی زیمنس بر متر MP 16 $dS.m^{-1}$	-0.950	0.039	-0.150	0.190	-0.140
شاخص حساسیت به تنش ۱۶ دسی زیمنس بر متر SSI 16 $dS.m^{-1}$	-0.366	-0.770	0.148	-0.209	0.342
شاخص میانگین هندسی بهره‌وری ۱۶ دسی زیمنس بر متر GMP 16 $dS.m^{-1}$	-0.860	0.279	-0.171	0.251	-0.241
شاخص تحمل به تنش ۱۶دسی زیمنس بر متر STI 16 $dS.m^{-1}$	-0.856	0.253	-0.173	0.247	-0.267
مقدار ویژه Eigenvalue	7.297	3.556	2.069	1.635	1.214
درصد تجمعی Cumulative (%)	40.5	60.3	71.8	80.9	87.6

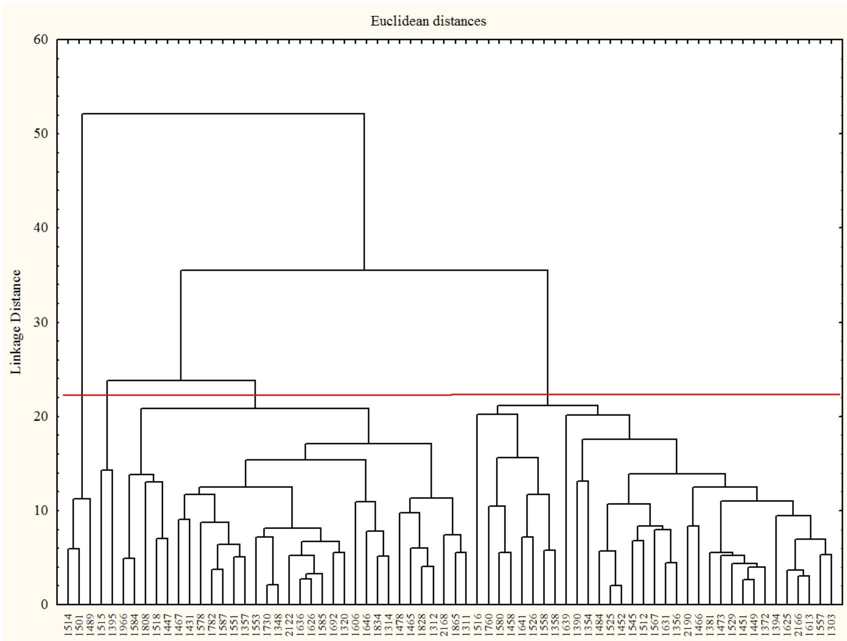


شکل ۵- پراکنش ژنوتیپ‌های نخود بر اساس دو عامل اول و دوم

Fig. 5- Distribution of chickpea genotypes on the basis of the first and the second components

نتایج به‌دست آمده از ترسیم بای‌پلات نشان داد که مؤلفه اول تغییرات مربوط به GMP12، MP12، TOL12، TOL16 و SSI16 را توضیح می‌دهد (شکل ۵). بنابراین، در شکل ۵، بعد اول نمودار را می‌توان بعد تحمل به تنش شوری نام نهاد. درحالی‌که مؤلفه دوم STI12، MP16، وزن خشک بوته، STI16، GMP16، بقا و بقای برگ را توضیح می‌دهد (شکل ۵). بنابراین، بعد دوم نمودار را می‌توان بعد پتانسیل تولید و مقاومت به شوری معرفی کرد. وجود نسبت سدیم به پتاسیم در بعد اول نمودار نشان‌دهنده این است که هر چه نسبت سدیم به پتاسیم بیشتر باشد، درصد بقای گیاه و بقای برگ کاهش پیدا می‌کند. همچنین بین درصد بقا و بقای برگ و بین GMP16 و STI16 رابطه نزدیک مشاهده شد (شکل ۵).

به‌منظور تعیین میزان قرابت ژنوتیپ‌ها و گروه‌بندی آن‌ها بر مبنای صفات مورد بررسی، تجزیه خوشه‌ای به‌روش UPGMA و با استفاده از فاصله اقلیدسی انجام شد. نتایج تجزیه خوشه‌ای نشان داد که ۷۰ ژنوتیپ مورد بررسی به چهار گروه تقسیم‌بندی شدند. این گروه‌ها به‌ترتیب شامل ۳، ۳، ۳۲ و ۳۳ ژنوتیپ بودند (شکل ۶).



شکل ۶- دندروگرام مربوط به گروه‌بندی ژنوتیپ‌های نخود با استفاده از صفات مورد مطالعه

Fig. 6- Classifying dendrogram in chickpea genotype based on studied traits

به‌منظور تأیید تفاوت بین گروه‌ها، تجزیه واریانس چندمتغیره بر پایه طرح کاملاً تصادفی نامتعادل برای صفات مورد نظر انجام شد، به‌طوری‌که گروه‌ها به‌عنوان تیمار و ژنوتیپ‌های داخل گروه‌ها به‌عنوان تکرار در نظر گرفته شدند که در آن، آماره ویلکس لامبدا (Wilks' Lambda) در دو متغیر در سطح احتمال یک درصد و در یک متغیر در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت، بین بردار میانگین‌ها در هر سه متغیر اختلاف معنی‌داری وجود داشته است. به این ترتیب، ژنوتیپ‌های قرار گرفته در این گروه‌ها نسبت به ژنوتیپ‌های قرارگرفته در گروه‌های متفاوت از نظر صفات مورد بررسی، شباهت بیشتری با هم داشته و گروه‌بندی، به‌طور صحیح انجام شده است (جدول ۱۲).

به‌منظور بررسی صحت گروه‌بندی‌های به‌دست آمده از روش تجزیه خوشه‌ای، از تابع تشخیص استفاده گردید. نتایج تجزیه تابع تشخیص نشان داد که به‌جز گروه سه که ۳/۱ درصد ژنوتیپ‌ها در گروه خود قرار نگرفته‌اند، سایر ژنوتیپ‌ها ۱۰۰ درصد در گروه خود قرار گرفته‌اند (جدول ۱۳).

جدول ۱۲– تجزیه واریانس (میانگین مربعات) چند متغیره بر پایه طرح کاملاً تصادفی نامتعادل، آمارهٔ ویلکس لامبدا در ژنوتیپ‌های نخود

Table 12- Analysis variance (mean of squares) of multi variables based on unbalanced completely randomized design (CRD) Wilks' Lambda in chickpea genotypes

عامل Function	درجه آزادی d.f	ویلکس لامبدا Wilks' Lambda	کای اسکوئر Chi-square	سطح احتمال Probability level
1	45	0.030	210	0.001
2	28	0.260	80.1	0.001
3	13	0.682	22.8	0.045

جدول ۱۳– نتایج تابع تشخیص برای صحت گروه‌بندی ژنوتیپ‌های نخود

Table 13- The results of discriminant function for clustering validity of chickpea genotypes

گروه Group		عضویت در گروه Group membership				مجموع Total
		1	2	3	4	
مجموع Total	1	3	0	0	0	3
	2	0	2	0	0	2
	3	0	0	31	1	32
	4	0	0	0	33	33
درصد Percent	1	100	0	0	0	100
	2	0	100	0	0	100
	3	0	0	96.9	3.1	100
	4	0	0	0	100	100

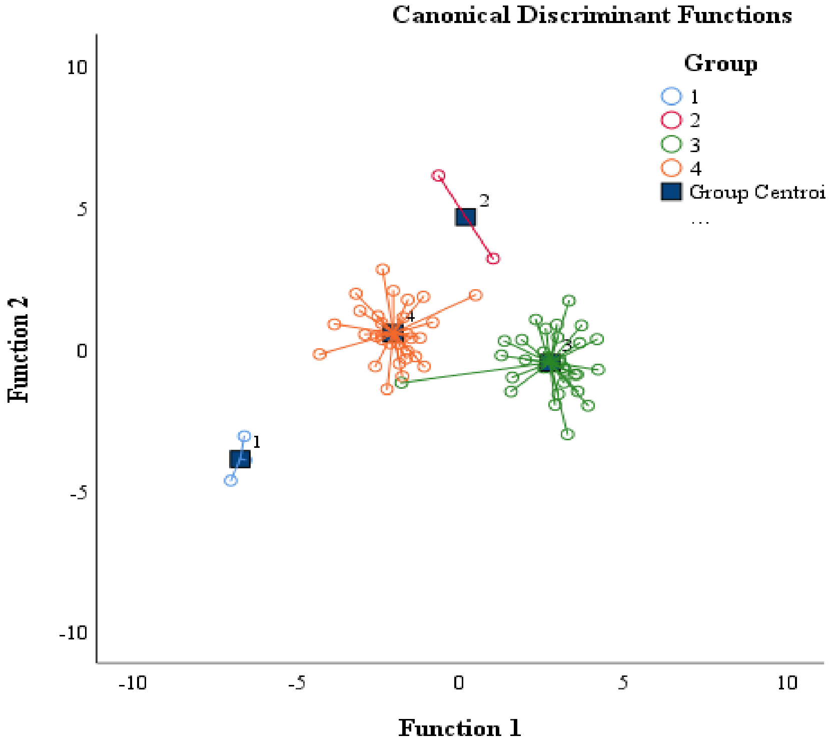
۹۸/۶ درصد از گروه بندی‌ها به‌صورت صحیح انجام شده است

98.6% of original grouped cases correctly classified

در تجزیه تابع تشخیص کانونیکی، دو متغیر اول کانونیک دارای مقادیر ویژه بالاتر از یک، در مجموع ۹۵/۳ درصد واریانس موجود را تبیین کردند که می‌توانند به‌عنوان معیاری مطمئن جهت انتساب ارقام جدید به گروه صحیح مورد استفاده قرار گیرد. همبستگی کانونیکی بسیار معنی‌دار بین ژنوتیپ‌ها با اولین متغیر کانونیک (R=۰/۹۴**) و دومین متغیر کانونیک (R=۰/۷۹**) نشان‌دهنده این است که این متغیرها تفاوت بین ژنوتیپ‌ها را به‌خوبی توجیه می‌کنند (جدول ۱۴). ضرایب تشخیص استاندار شده کانونیکی همبستگی خطی ساده بین متغیرهای اصلی و متغیرهای کانونیکی را محاسبه می‌کند. لذا، ضرایب تشخیص استاندارد شده کانونیکی بیان‌کننده واریانس مشترکی است که متغیرهای اندازه‌گیری شده با متغیرهای کانونیک دارند و می‌تواند در ارزیابی توجیه نسبی هر متغیر در هر معادله کانونیک مورد استفاده قرار گیرد (Cruz-Castillo *et al.*, 1994). برای توجیه توابع تشخیص از ضرایب تشخیص استانداردشده استفاده می‌شود. این ضرایب تأثیر هر صفت را پس از حذف اثرات سایر صفات در توابع تشخیص به‌دست می‌دهد؛ بنابراین اثرات خالص هر صفت را در تابع تشخیص محاسبه می‌کند. . ضرایب استانداردشده کانونیکی صفات درصد بقا، درصد بقای برگ، نسبت سدیم به پتاسیم، GMP12، STI12، TOL16 و SSI16 در معادله اول تشخیصی کانونیکی قابل‌توجه است. ضرایب صفات ارتفاع بوته، اختلاف ارتفاع بوته، درصد نشت الکترولیت‌ها، پتانسیل اسمزی، TOL12 و SSI12 در دومین معادله تشخیص کانونیکی نیز بالا بود (جدول ۱۴).

این نتایج نشان می‌دهد کـه ایـن صـفات بیشـترین تـأثیر را در تنوع بین ژنوتیپ‌ها دارند.

در ادامه، از متغیرهای کانونیکی معنی‌دار اول و دوم بـرای گروه‌بنـدی ژنوتیپ‌هـا اسـتفاده شـد. همـان‌طور کـه ملاحظـه می‌شود، ژنوتیپ‌های نخود در چهار گروه تقسـیم‌بندی شـدند و کمترین فاصله بین گروه‌های سوم و چهـارم و بیشـترین فاصـله بین گروه‌های اول و دوم مشاهده گردید (شکل ۷).



شکل ۷– گروه‌بندی ژنوتیپ‌های نخود بر اساس متغیرهای کانونیک معنی‌دار

Fig. 7- Cluster grouping of chickpea genotypes based on significant canonical variable under controlled conditions

به‌منظور بررسی دقیق‌تر گروه‌ها برای هـر یـک از صـفات مورد مطالعه به‌صورت جداگانه، تجزیه واریانس یک‌طرفه انجام شد. بر اساس نتایج تجزیه واریانس در صفات درصد بقا، درصد بقای برگ، ارتفـاع بوتـه، اخـتلاف ارتفـاع بوتـه، درصـد نشـت الکترولیت‌هـا، پتانسـیل اسـمزی، نسـبت سـدیم بـه پتاسـیم، GMP16 و STI16 تفاوت معنی‌داری بین گروه‌ها مشاهده شـد (جدول ۱۵).

مقایسـه میـانگین گروه‌هـا بـا اسـتفاده از آزمـون چنـد دامنه‌ای دانکن برای درصد بقا و بقای برگ نشان داد که گـروه سـوم بیشـترین میـانگین را دارا بـود. از نظـر میـزان نشـت الکترولیت‌ها، گروه اول و سوم کمترین میانگین را دارا بودند. از نظر وزن خشک بوته، گروه سوم دارای بیشترین میانگین بـود. از نظر نسبت سـدیم بـه پتاسـیم، گـروه سوم دارای کمتـرین میـانگین بـود. از نظـر MP12 و GMP12، گـروه سـوم دارای بیشترین میـانگین بـود. از نظـر SSI12 و SSI16، گـروه سـوم دارای کمترین میانگین بود. میـانگین STI12، STI16، MP16 و GMP16 نیز در گروه سوم از میانگین کل بیشتر بود (جدول ۱۶).

بر اساس این نتایج، ژنوتیپ‌های گروه سوم، از نظر صفات مؤثر شامل درصد بقا و بقـای بـرگ، نشـت الکترولیت‌هـا، وزن خشک بوته، نسبت سدیم به پتاسیم و شاخص‌های تحمـل بـه شـوری برتـر هسـتند (جـدول ۱۶). تـنش شـوری منجـر بـه پراکسیداسـیون لیپیـدهای غشـایی و کـاهش فراوانـی لیپیـد غشایی و در نتیجـه، نشـت الکترولیت‌هـا می‌شـود. لیپیـدهای غشای فتوسنتزی به‌خوبی از طریق حفظ ساختار کلروپلاسـت به‌طور قابل توجهی به گیاه در واکنش به تنش‌های غیرزیسـتی کمک می‌کنند (Liu *et al*., 2019). در نتیجه، ژنوتیپ‌هایی که نشت الکترولیـت پـایین‌تری دارنـد، دارای لیپیـدهای غشـایی مقاوم‌تری هستند و تحمـل بیشـتری بـه تـنش شـوری نشـان می‌دهند. تـنش شـوری باعـث ایجـاد تغییـرات مورفولـوژیکی

متعددی از جمله کاهش تعداد برگ در گیاهان می‌شود (Petretto *et al.*, 2019). گیاهان با تعدیل سطح برگ خالص، نسبت سطح برگ و نسبت وزن برگ به شوری پاسخ می‌دهند (Arif *et al.*, 2020). بنابراین، ژنوتیپ‌هایی که توانایی حفظ بقای برگ خود را دارند متحمل به شوری هستند. در مقادیر زیاد سدیم، از جذب عناصر غذایی مانند پتاسیم در بافت‌های گیاهی ممانعت به عمل می‌آید که نتیجه آن افزایش نسبت سدیم به پتاسیم می‌باشد. در ارقام متحمل، یون سدیم کمتری وارد بافت‌های گیاه می‌شود و از این رو، نسبت سدیم به پتاسیم در گیاه به‌عنوان شاخصی جهت تحمل گیاه در برابر شوری استفاده می‌شود (Doraki *et al.*, 2018). با توجه به نتایج به‌دست آمده، ژنوتیپ‌های گروه سوم دارای صفاتی هستند که در تحمل به تنش شوری نقش مهمی ایفا می‌کنند.

جدول ۱۴- ضرایب استاندارد کانونیکی صفات اندازه‌گیری شده در ژنوتیپ‌های نخود

Table 14- Standardized canonical discriminant function coefficients measured groups in chickpea genotypes

صفات Treats	متغیرهای کانونیکی Canonical varieties		
	1	2	3
بقا Survival	1.13*	-0.113	0.022
بقای برگ Leaf survival	-0.063*	0.021	-0.007
ارتفاع بوته Plant height	-0.152	0.807*	-0.052
اختلاف ارتفاع بوته Delta plant height	0.263	-0.594*	0.170
نشت الکترولیت Electrolyte leakage	-0.242	0.789*	0.216
پتانسیل اسمزی Osmotic potential	-0.147	0.724*	0.318
وزن خشک Dry weight	0.441	-0.057	-0.294*
نسبت سدیم به پتاسیم $Na.K^{-1}$	0.067*	-0.151	-0.224
شاخص تحمل ۱۲ دسی زیمنس بر متر TOL12 $dS.m^{-1}$	-1.51	-0.827*	5.20
شاخص بهره‌وری متوسط ۱۲ دسی زیمنس بر متر MP12 $dS.m^{-1}$	0.773	-2.06	-5.63*
شاخص حساسیت به تنش ۱۲ دسی زیمنس بر متر SSI12 $dS.m^{-1}$	1.45	-0.121*	-3.37
شاخص میانگین هندسی بهره‌وری ۱۲ دسی زیمنس بر متر GMP12 $dS.m^{-1}$	-1.27*	-0.224	-2.16
شاخص تحمل به تنش ۱۲ دسی زیمنس بر متر STI12 $dS.m^{-1}$	0.305*	1.1	7.38
شاخص تحمل ۱۶ دسی زیمنس بر متر TOL16 $dS.m^{-1}$	0.321*	4.758	-4.72
شاخص حساسیت به تنش ۱۶ دسی زیمنس بر متر SSI16 $dS.m^{-1}$	-0.34*	-2.966	4.08
مقدار ویژه Eigen value	7.80	1.622	0.466
درصد تجمعی Cumulative %	78.9	16.4	4.70
همبستگی کانونیکی Canonical correlation	0.94**	0.79**	0.56*

*: بالاترین همبستگی مشاهده شده بین هر صفت و متغیر کانونیکی

*: Largest absolute correlation between each variable and any discriminant function

جدول ۱۵- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) گروه‌ها بر اساس صفات مورد مطالعه نخود

Table 15- Analysis of variance (mean of squares) based on measured groups in chickpea genotypes

صفات Traits	بین گروه‌ها Between groups	درون گروه‌ها Within groups	سطح احتمال Probability level
درجه آزادی d.f	3	66	-
بقا Survival	16857^{**}	2572^{**}	0.000
بقای برگ Leaf survival	5173^{**}	3064^{**}	0.000
ارتفاع بوته Plant height	119^{**}	310^{**}	0.000
اختلاف ارتفاع بوته Delta plant height	62.9^{*}	446^{*}	0.033
نشت الکترولیت Electrolyte leakage	1003^{**}	5204^{**}	0.008
پتانسیل اسمزی Osmotic potential	5.81^{**}	15.2^{**}	0.000
وزن خشک Dry weight	0.022^{ns}	0.190^{ns}	0.061
نسبت سدیم به پتاسیم $Na.K^{-1}$	0.484^{**}	2.09^{**}	0.003
شاخص تحمل ۱۲ دسی زیمنس بر متر TOL12 $dS.m^{-1}$	0.054^{ns}	0.615^{ns}	0.134
شاخص بهره‌وری متوسط ۱۲ دسی زیمنس بر متر MP12 $dS.m^{-1}$	0.012^{ns}	0.322^{ns}	0.480
شاخص میانگین هندسی بهره‌وری ۱۲ دسی زیمنس بر متر SSI12 $dS.m^{-1}$	0.017^{ns}	0.224^{ns}	0.181
شاخص تحمل به تنش ۱۲ دسی زیمنس بر متر GMP12 $dS.m^{-1}$	0.013^{ns}	0.292^{ns}	0.420
شاخص تحمل ۱۲ دسی زیمنس بر متر STI12 $dS.m^{-1}$	0.202^{ns}	4.45^{ns}	0.399
شاخص بهره‌وری متوسط ۱۶ دسی زیمنس بر متر TOL16 $dS.m^{-1}$	0.039^{ns}	0.842^{ns}	0.384
شاخص حساسیت به تنش ۱۶ دسی زیمنس بر متر MP16 $dS.m^{-1}$	0.031^{ns}	0.280^{ns}	0.070
شاخص میانگین هندسی بهره‌وری ۱۶ دسی زیمنس بر متر SSI16 $dS.m^{-1}$	0.052^{ns}	0.539^{ns}	0.103
شاخص تحمل به تنش ۱۶ دسی زیمنس بر متر GMP16 $dS.m^{-1}$	0.042^{*}	0.255^{*}	0.018
شاخص تحمل ۱۶ دسی زیمنس بر متر STI16 $dS.m^{-1}$	0.459^{*}	3.749^{*}	0.053

ns، * و **: به‌ترتیب غیر معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد، معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد

Ns,* and **: No significant at probability level of 5% and probability level of 1%, respectively

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی، نتایج بیانگر وجود تنوع بین ژنوتیپ‌های مختلف نخود کابلی در واکنش به تنش شوری بود. در تنش شوری ۱۲ و ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر، دو ژنوتیپ MCC1467 و MCC1394 در بیشتر صفات مورد مطالعه برتر از سایر ژنوتیپ‌ها بودند. در تنش شوری ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر، در میان ۷۰ ژنوتیپ نخود، ۲۸ ژنوتیپ دارای بقای ۱۰۰-۷۶ درصد بودند. بررسی همبستگی بین صفات نشان داد که بقا و زنده ماندن در شرایط شور ارتباط مثبت و قوی با حفظ برگ‌های گیاه داشت. ژنوتیپ‌هایی که در شرایط تنش شوری بتوانند عملکرد طبیعی فیزیولوژیک خود را حفظ کنند، توانایی حفظ و گسترش سطح سبز بیشتری نیز خواهند داشت که در نهایت، به تولید زیست‌توده بیشتر منجر می‌شود. در نهایت، ژنوتیپ‌های گروه سوم حاصل از تجزیه خوشه‌ای از برتری نسبی بالاتری

برای تحمل به شوری برخوردار بودند. بـا توجـه بـه اینکـه ایـن پژوهش در شرایط هیدروپونیک و کنترل شـده انجـام شـد و از طرفی، مهم‌ترین ویژگی در انتخاب ژنوتیپ‌ها برای معرفی ارقـام متحمل شوری در مزرعه عملکرد دانه آن‌ها است، بررسی تحمل به شوری این ژنوتیپ‌ها در شرایط مزرعه توصیه می‌گردد.

جدول ۱۶- مقایسه میانگین صفات گروه‌ها در ژنوتیپ‌های نخود

Table 16- Cluster analysis in chickpea genotypes

صفات Traits	گروه ۱ Group 1	گروه ۲ Group 2	گروه ۳ Group 3	گروه ۴ Group 4	مجموع Total
	تعداد ژنوتیپ Genotype number				
	3	3	32	33	70
درصد بقا Survival (%)	40.5[d*]±3.06	85.0[b]±2.36	95.9[a]±7.13	68.9[c]±5.51	80.5±16.8
درصد بقای برگ Leaf survival (%)	51.2[c]±5.80	77.8[a]±4.48	82.3[a]±6.78	67.5[b]±6.96	73.9±10.9
ارتفاع بوته Plant height (cm)	11.1[c]±0.225	20.8[a]±5.02	14.6[b]±1.84	15.2[b]±2.37	14.9±2.49
اختلاف ارتفاع بوته Delta plant height (cm)	5.33[b]±1.99	12.4[a]±2.32	7.56[b]±2.06	7.40[b]±3.07	7.53±2.72
درصد نشت الکترولیت‌ها Electrolyte leakage (%)	28.3[c]±1.09	56.2[a]±6.68	41.7[b]±8.67	43.0[b]±9.4	42.2±9.48
پتانسیل اسمزی Osmotic Potential (MP)	1.72[c]±0.354	3.83[a]±0.198	2.85[b]±0.422	2.73[b]±0.542	2.77±0.552
وزن خشک Dry weight ($g.plant^{-1}$)	0.229[b]±0.056	0.310[a]±0.158	0.315[a]±0.059	0.297[ab]±0.04	0.303±0.055
نسبت سدیم به پتاسیم $Na.k^{-1}$	0.953[a]±0.235	0.670[b]±0.240	0.625[b]±0.186	0.757[ab]±0.163	0.703±0.193
شاخص تحمل ۱۲ دسی زیمنس بر متر Tol12 $dS.m^{-1}$	0.072[a]±0.031	0.198[a]±0.19	0.124[a]±0.088	0.169[a]±0.103	0.145±0.098
شاخص بهره‌وری متوسط ۱۲ دسی زیمنس بر متر MP12 $dS.m^{-1}$	0.289[a]±0.075	0.348[a]±0.195	0.353[a]±0.07	0.341[a]±0.061	0.345±0.07
شاخص حساسیت به تنش ۱۲ دسی زیمنس بر متر SSI12 $dS.m^{-1}$	0.078[a]±0.029	0.134[a]±0.061	0.010[a]±0.055	0.128[a]±0.062	0.113±0.059
شاخص میانگین هندسی بهره‌وری ۱۲ دسی زیمنس بر متر GMP12 $dS.m^{-1}$	0.286[a]±0.075	0.332[a]±0.175	0.345[a]±0.069	0.327[a]±0.057	0.334±0.066
شاخص تحمل به تنش ۱۲ دسی زیمنس بر متر STI12 $dS.m^{-1}$	0.492[a]±0.228	0.723[a]±0.671	0.713[a]±0.281	0.633[a]±0.213	0.666±0.26
شاخص تحمل ۱۶ دسی زیمنس بر متر TOL16 $dS.m^{-1}$	0.214[a]±0.070	0.214[a]±0.206	0.168[a]±0.095	0.216[a]±0.126	0.193±0.113
شاخص بهره‌وری متوسط ۱۶ دسی زیمنس بر متر MP16 $dS.m^{-1}$	0.218[b]±0.048	0.340[a]±0.187	0.323[a]±0.071	0.316[a]±0.052	0.315±0.067
شاخص حساسیت به تنش ۱۶ دسی زیمنس بر متر SSI16 $dS.m^{-1}$	0.305[a]±0.031	0.195[a]±0.091	0.183[a]±0.082	0.219[a]±0.100	0.205±0.093
شاخص میانگین هندسی بهره‌وری ۱۶ دسی زیمنس بر متر GMP16 $dS.m^{-1}$	0.189[b]±0.039	0.321[a]±0.163	0.309[a]±0.069	0.290[a]±0.049	0.295±0.066
شاخص تحمل به تنش ۱۶ دسی زیمنس بر متر STI16 $dS.m^{-1}$	0.217[b]±0.082	0.685[a]±0.616	0.588[a]±0.274	0.510[ab]±0.179	0.538±0.247

* حروف متفاوت نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار میان گروه‌های مختلف است.

* Means with the same latter are significntly differences.

References

Amini Dehaghi, M., & Dadkhah, A. (2012). The effect of iron and zinc fertilizers on the growth, nodulation and nitrogen fixation of chickpea under salinity stress conditions. In: Abstract Book of the the 4th Pulse Crops Symposium, February 18-19, 2012. Arak Agricultural Jahad Organization, Iran. 1-4. (In Persian)

Analin, B., Mohanan, A., Bakka, K., & Challabathula, D. (2020). Cytochrome oxidase and alternative oxidase pathways of mitochondrial electron transport chain are important for the photosynthetic performance of pea plants under salinity stress conditions. *Plant Physiology and Biochemistry*, *154*, 248-259. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.05.022

Arif, Y., Singh, P., Siddiqui, H., Bajguz, A., & Hayat, S. (2020). Salinity induced physiological and biochemical changes in plants: An omic approach towards salt stress tolerance. *Plant Physiology and Biochemistry*, *156*, 64-77. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.08.042

Chenarani, M., Safipourafshar, A., & Saeed Nematpour, F. (2014). Physiological and biochemical responses of field pea plants to ascorbic acid under salinity stress. *Iranian Journal of Plant Physiology and Biochemistry*, *1*(1), 76-63. (In Persian with English Abstract)

Cruz-Castillo, J.G., Ganeshanandam, S., MacKay, B.R., Lawes, G.S., Lawoko, C.R.O., & Woolley, D.J. (1994). Applications of canonical discriminant analysis in horticultural research. *HortScience*, *29*(10), 1115-1119. https://doi.org/10.21273/HORTSCI.29.10.1115

Dagar, J.C., Yadav, R.K., & Sharma, P.C. (2019). Research developments in saline agriculture. Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-13-5832-6

Dehghani Tafti, A., Mahmoudi, S., Alikhani, H., & Salehi, M. (2018). Investigating the effect of salinity stress and soil micro-organisms on the amount of absorption of mineral elements of the medicinal plant esfarzeh (*Plantago ovata* Forsk). *Plant Production Research*, *26*(1), 123-140. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/10.22069/jopp.2019.14474.2295

Dharamvir., Kumar, A., Kumar, N., & Kumar, M. (2018.) Physiological responses of chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes to salinity stress. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, *7*(11), 2380-2388. https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.711.269

Doraki, G.R., Zamani, G.R., & Sayyari, M.H. (2018). Effect of salt stress on yield and yield components in chickpea (*Cicer arietinum* L. cv. Azad). *Iranian Journal Pulses Research*, *9*(1), 57-68. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/10.22067/ijpr.v9i1.53816

FAO. (2018). Food and Agriculture Organization of the United Nations. http://www.Faostate.fao.org

Farhoudi, R., & Dong, L. (2015). Investigating stress tolerance and comparing grain yield of chickpea genotypes under salinity stress conditions. *Physiology of Agricultural Plants*, (33), 53-68. (In Persian with English Abstract)

Farooq, M., Gogoi, N., Hussain, M., Barthakur, S., Paul, S., Bharadwaj, N., Migdadi, H.M., Alghamdi, S.S., & Siddique, K.H. (2017). Effects, tolerance mechanisms and management of salt stress in grain legumes. *Plant Physiology and Biochemistry*, *118*, 199-217. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2017.06.020

Ghosh, S., Kamble, N.U., & Majee, M. (2020). A protein repairing enzyme, protein l-isoaspartyl methyltransferase is involved in salinity stress tolerance by increasing efficiency of ROS-scavenging enzymes. *Environmental and Experimental Botany*, *180*, 104266. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2020.104266

Hashem, A., Abd_Allah, E.F., Alqarawi, A.A., Wirth, S., & Egamberdieva, D. (2019). Comparing symbiotic performance and physiological responses of two soybean cultivars to arbuscular mycorrhizal fungi under salt stress. *Saudi Journal of Biological Sciences*, *26*(1), 38-48. https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2016.11.015

Hoagland, D.R. & Arnon, D.I. (1950). The water-culture method for growing plants without soil. circular (2nd Ed.). California Agricultural Experiment Station.

Kanuni, H. (2016). The current situation and future prospects of chickpea cultivation and production in the country, the 6th National Legume Conference of Iran, Khorramabad, Research and Education Center of Agriculture and Natural Resources of Lorestan province, Iran. (In Persian with English Abstract)

Kaur, R., & Prasad, K. (2021). Technological, processing and nutritional aspects of chickpea (*Cicer arietinum*)-A review. *Trends in Food Science and Technology*, *109*, 448-463. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.01.044

Liu, X., Ma, D., Zhang, Z., Wang, S., Du, S., Deng, X., & Yin, L. (2019). Plant lipid remodeling in response to abiotic stresses. *Environmental and Experimental Botany*, *165*, 174-184. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2019.06.005

Muchate, N.S., Nikalje, G.C., Rajurkar, N.S., Suprasanna, P., & Nikam, T.D. (2016). Plant salt stress: adaptive responses, tolerance mechanism and bioengineering for salt tolerance. *The Botanical Review, 82,* 371-406. https://doi.org/10.1007/s11105-015-0939-x

Nabati, J., Kafi, M., Masoumi, A., Zare Mehrjerdi, M., Boroumand Rezazadeh, E., & Khaninejad, S. (2018). Salinity stress and some physiological relationships in kochia (*Kochia scoparia*). *Environmental Stresses in Crop Sciences*, *11*(2), 401-412. (In Persian with English Abstract). http://dx.doi.org/10.22077/escs.2017.1607.1036

Nabati, J., Goldani, M., Mohammadi, M., Mirmiran S.M., & Asadi. A. (2022a). Evaluation of response of lentil (*Lens culinaris* Medik.) genotypes to salinity stress under controlled conditions. *Journal Soil and Plant Interactions, 12*(4), 73-91. (In Persian with English Abstract)

Nabati, J., Nasiri, Z., Nezami, A., Kafi, M., & Goldani, M. (2022b). Effects of salinity stress on growth processes and survival of Desi-type chickpea genotypes in hydroponic conditions. *Iranian Journal of Field Crop Science, 53*(2), 29-44. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/10.22059/ijfcs.2021.315235.654779

Nasiri, Z., Nabati, J., Nezami, A., & Kafi, M. (2021). Screening of Kabuli-type chickpea genotypes for salinity tolerance under field condition. *Environmental Stresses in Crop Sciences, 14*(4), 1055-1068. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/10.22077/escs.2020.3290.1839

Nasiri, Z., Nabati, J., Nezami, A., & Kafi, M. (2023). Assessment of photosynthetic traits of kabuli-type chickpea genotypes under salinity stress. *Iranian Journal of Field Crops Research, 21*(2), 127-142. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/10.22067/gsc.v0i0.80785

Petretto, G.L., Urgeghe, P.P., Massa, D., & Melito, S. (2019). Effect of salinity (NaCl) on plant growth, nutrient content, and glucosinolate hydrolysis products trends in rocket genotypes. *Plant Physiology and Biochemistry*, *141*, 30-39. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2019.05.012

Sairam, R.K., & Tyagi, A. (2004). Physiology and molecular biology of salinity stress tolerance in plants. *Current Science, 86*, 407-421.

Soni, S., Kumar, A., Sehrawat, N., Kumar, A., Kumar, N., Lata, C., & Mann, A. (2021). Effect of saline irrigation on plant water traits, photosynthesis and ionic balance in durum wheat genotypes. *Saudi Journal of Biological Sciences, 28*(4), 2510-2517. https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.01.052

Sun, W., Zhao, H., Wang, F., Liu, Y., Yang, J., & Ji, M. (2017). Effect of salinity on nitrogen and phosphorus removal pathways in a hydroponic micro-ecosystem planted with *Lythrum salicaria* L. *Ecological Engineering*, *105*, 205-210. https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.04.048

Tan, X., Tan, X., Li, E., Bai, Y., Nguyen, T.T., & Gilbert, R.G. (2021). Starch molecular fine structure is associated with protein composition in chickpea seed. *Carbohydrate Polymers*, *272*, 118489.

Tandon, H.L.S. (1995). Methods of Analysis of Soils, Plants, Water and Fertilizers. FDCO, New Delhi.

Voet, D., Voet, J.G., & Pratt, C.W. (2001). Fundamentals of Biochemistry. New York, Wiley.